Phys. sp.
316
n

Untersuchungen

über den Hagel

und

die elektrischen Erscheinungen

in unserer Atmosphäre

von

Dr. Jul. Ludw. Ideler.

Digitized by Google

<36629081860015 S

<36629081860015

Bayer. Staatsbibliothek

Untersuchungen

über den Hagel

und

die elektrischen Erscheinungen

in unserer Atmosphäre

Nebst einem Anhange

über

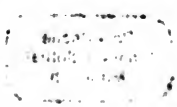
die Abnahme des Wärmestoffs im Luftkreise

von

Dr. Jul. Ludw. Ideler.

Mit einer Figurentafel.

Leipzig 1833
bei Friedr. Christ. Wilh. Vogel.



Digitized by Google

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Digitized by Google

Vorrede.

Man hat oft gegen Monographien, besonders über naturwissenschaftliche Gegenstände, eingewendet, dass sie den Leser auf einen zu einsamen Standpunkt versetzen, ohne ihm die Einheit und den inneren Zusammenhang der einzelnen Erscheinungen in ihrer Gesammtheit zu verdeutlichen, und so dem Systeme schaden, welches, nach der jedesmaligen Lage und Beschaffenheit der betreffenden Wissenschaft, die Zeitgenossen gebildet haben. Der Leser möge dem Verfasser verzeihen, wenn er anderer Meinung ist: wenn er behauptet, dass kein System aufzustellen möglich sei, wenn nicht eine hinlängliche Anzahl von Monographien schon vorhanden, oder von dem Urheber selbst bearbeitet worden sind; und in diesem Sinne wagt er es, dem Publikum Untersuchungen über einen Gegenstand vorzulegen, die von ihm selbst und anderen vielfach bearbeitet, eben so oft bestritten und bekrittelt, eben so oft vertheidigt worden sind, dass er ein Zankapfel polemischer Thätigkeit geworden ist. Der Verfasser würde sich glücklich schätzen, wenn dieser Abhandlung, einem seiner Schoosskinder, ein Theil des Beifalls zukäme, welchen er seiner nächst-erscheinenden Ausgabe der Aristotelischen Meteorologik zu wünschen nicht abgeneigt wäre.

Berlin, den 11. *September* 1833.

Jul. Ludw. Ideler.

Digitized by Google

Inhalt.

Abschnitt		Seite
I.	Theorie der atmosphärischen Elektricität . .	1
II.	Erscheinungen und Bedingungen, welche das Phänomen des Hagels begleiten	28
III.	Uebersicht und Beurtheilung der früheren Theorien über den Ursprung des Hagels	46
IV.	Prüfung und Erweiterung der Theorie Leopold v. Buch's	60
	Anhang über die Abnahme des Wärmestoffs mit der Höhe.	
V.	Untersuchung der Frage, ob die bisher angegebenen Ursachen für die Wärmeabnahme das Phänomen erklären	82
VI.	Ueber die Gränze des ewigen Schnees . . .	129

Digitized by Google

I.

Der Hagel ist deshalb so oft für eine Wirkung der Elektricität angesehen worden, weil er gemeiniglich, nicht immer, von elektrischen Erscheinungen begleitet ist [1]). Es muss daher zuvörderst von der Art und Weise, wie die Elektricität in unserer Atmosphäre erzeugt wird, und wie sie wirkt, gehandelt werden. Im Allgemeinen kommt unserem Luftkreise zweierlei zu; einmal, wie Pouillet gezeigt hat, eine + Ladung der unteren Schichten, deren Ursache die Vegetation sein soll [2]), zweitens ein entschie-

1) Namentlich sind bei uns die elektrischen Erscheinungen äusserst selten mit dem Graupenhagel (*grésil*) verbunden.

2) Aus Pouillet's Versuchen ergeben sich nämlich nachstehende Resultate (*Annales de Chim. et de Phys.* XXXV, p. 401 Folgd.):

1. Alle Gasarten entbinden Elektricität, wenn sie sich, sowohl unter einander, als mit festen oder tropfbar-flüssigen Körpern verbinden.

2. Bei diesen Verbindungen entwickelt der Sauerstoff stets + *E*, der brennbare Körper, er möge sein, welcher er wolle, — *E*.

3. Wenn eine Verbindung getrennt wird, so befindet sich jedes Element, indem die Elektricität, welche es entwickelt hatte, mangelt, in einem Zustande entgegengesetzter Elektricität. Diese Wechselwirkung zeigt,

Digitized by Google

den stärkeres Leitungsvermögen für die + *E*, was Trémery [3]) durch den bekannten Versuch mit der Lullin'schen Charte zuerst dargethan hat, was aber nicht der atmosphärischen Luft allein zukommt, sondern eine allgemeine Eigenschaft sämmtlicher Gasarten ist, wie Theodor v. Grotthuss [4]) und andere Physiker [5]) nachgewiesen haben. Die + Ladung unserer Atmosphäre [6]) war schon von Alexander

---

inwiefern sich der Entstehungs-Zustand von dem definitiven eines Körpers unterscheidet.

4. Die Wirkung der Vegetabilien auf den Sauerstoff der Luft ist eine der dauerndsten und mächtigsten Ursachen der atmosphärischen Elektricität; und bedenkt man einerseits, dass eine Gramme reiner Kohle eine hinreichende Quantität Elektricität bei ihrer Oxydation zu Kohlensäure entwickelt, um eine leydener Flasche zu laden, und andererseits, dass die Kohle, welche bei dem Vegetationsprocesse oxydirt wird, keine geringere Quantität von Elektricität giebt als diejenige, welche frei brennt: so kann man daraus schliessen, wie es auch die direkten Versuche von Pouillet darthun, dass auf einer mit Vegetation versehenen Fläche von 300 Quadratfuss in einem Tage mehr Elektricität frei wird, als erforderlich ist, um die stärkste elektrische Batterie zu laden (Vgl. *Annales* etc. Tom. XXXVI. p. 15 folgd.).

3) *Journal de Physique.* Tom. LIV. p. 357. Gilb. *Annal.* XXIII. p. 426.

4) Schweigger's *Journal* IX. p. 330.

5) Gilb. *Annal.* XXXII. p. 31. XLIII. p. 218. *Annales générales des sc. natur.* VIII. p. 111. *Philosophical Transactions* Tom. L. p. 371. Voigt's *Magazin* Bd. X. St. 3. p. 55.

6) Vgl. v. Arnim *Versuche über die Theorie der elektrischen Erscheinungen.* p. 48.

Digitized by Google

v. Humboldt in Europa[7]), dann in Amerika[8]) beobachtet worden und ist, wie schon aus der angeführten Ursache hervorgeht, kein bloss lokales, sondern ein allgemeines Phänomen. Wie sich aber die Wärme in unserer Atmosphäre äusserst selten im Gleichgewichte befindet, eben so wenig die Elektricität, da alle Formveränderungen, welche in unserer Atmosphäre vorzugsweise mit dem Wasser vorgehen, von elektrischen Processen begleitet sind. Hier muss ich nun an zwei Sätze erinnern, deren ersten wir Erman's, deren zweiten wir Davy's, Berzelius's und Pouillet's Untersuchungen verdanken.

I. In jedem Körper, welcher isolirt von der Fläche des Bodens bis zu einer beträchtlichen Höhe emporgehoben wird, entsteht, bloss durch Entrückung aus dem Wirkungskreise der unendlich grossen Erdmasse, eine beträchtliche elektrische Spannung, weil die Elektricität, die in der niedern Station durch Einwirkung der Erde in ihm gebunden war, in der höhern Station sich nothwendig expandirt, und zwar um so mehr, je weiter er aus der bindenden Atmosphäre des Bodens entrückt wird[9]). Daher wird die Intensität der atmosphärischen Elek-

7) *Versuche über die chem. Zerlegung unseres Luftkreises* p. 174.

8) *Voyage aux rég. équinox.* Tom. VI. p. 182.

9) Gilb. *Annal.* XV. p. 385. XXVI. p. 9.

Digitized by Google

tricität zunehmen, je höher wir uns in den Luftkreis erheben. Daher wird Donner und Blitz bei dem vertikalen Dampfstrome entstehen, der vom Krater eines Vulkanes emporsteigt. Daher wird die Intensität der Elektricität in den unteren Schichten unserer Atmosphäre besonders stark bei einem emporsteigenden Nebel sein, wie dies von Saussure[10]) und Cavallo[11]) ausdrücklich nachgewiesen haben. Es fragt sich nun, ob die auf diese Weise entstehende Elektricität + oder — sein werde. Erman's Versuchen und den Gesetzen der durch Vertheilung hervorgerufenen Elektricität zufolge, lässt sich der Satz folgendermaassen allgemein aussprechen: Wenn ein Körper sich von einer Oberfläche losreisst, deren Elektricität neutralisirt war, und in die Höhe steigt, so erlangt er die E, welche der des umgebenden Mediums entgegengesetzt ist. Der Dunst also, der sich von einer Wasseroberfläche erhebt, erhält $-E$, da die elektrische Ladung der Atmosphäre, wie angeführt worden, im Allgemeinen + ist; daher hat der aufsteigende Luftstrom, der an Orten, wo wenig Vegetation herrscht, besonders stark ist, und der die erwärmte Luft zu höheren Regionen führt, daher haben die sich erhebenden Wasserdünste $-E$. Hiermit in Uibereinstimmung sind die

---

10) *Voyages dans les Alpes* Tom. III, p. 308. Tom. V, p. 142.

11) Scholz *Anfangsgründe der Physik* (Wien 1827.) p. 273.

Digitized by Google

Beobachtungen Gay-Lussac's und Biot's bei ihrer ersten aërostatischen Fahrt, welche sie am 24. Aug. 1804 anstellten, die, je höher sie stiegen, eine desto stärkere — Ladung der Atmosphäre fanden[12]); dasselbe fand von Hohenwart bei seiner Besteigung des Glockner[13]). Daher ist es zu erklären, dass bei dem grossen Ausbruche des Vesuv im Jahre 1794 die Luft in einem sonst nie erhörten Grade — elektrisch war[14]). Wenn aber der Wasserdunst unserer Atmosphäre — *E* hat, die wegen des geringen Leitungsvermögens der Luft für die — *E*, und weil die Ladung der Atmosphäre nur in den untersten, der Vegetation zunächst ausgesetzten Schichten + *E* ist, nicht neutralisirt werden kann: so muss auch der Niederschlag — *E* haben (s. den nachfolgenden Satz), und in der That hat Erman[15]) gezeigt, dass ein vorübergehender Regenschauer hinterher noch durch Mittheilung den Körpern — *E* giebt, und durch den analogen Versuch bestätigt, wo man eine isolirte Stange gegen ein auf dem Boden stehendes Goldblattelektrometer führt, wodurch sie dem Instrumente durch Mittheilung diejenige *E* giebt, welche sie selbst durch Vertheilung erlangt hatte.

---

12) Gilb. *Annal.* XX. p. 15.

13) Ebendas. p. 251.

14) Ebendas. Bd. V. p. 11.

15) Gilb. *Annal.* XV. p. 414 vgl. Cavallo *Vollständige Abhandl. der theoret. und prakt. Lehre von der Elektricität* I. S. 66.

Digitized by Google

Der Schnee thut dies noch anhaltender und ausgezeichneter, vermöge seiner grösseren Trockenheit, welche bewirkt, dass die umgebende Luft länger isolirend wirken kann, während beim Regen die Spuren der durch das Fallen und durch die vertheilende Wirkung des Bodens erregten *E* in der feuchten Luft viel früher verschwinden müssen. Die Schicht der Atmosphäre, in welcher die Elektricität merklich zu werden anfängt, liegt zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen Entfernungen von der Erdoberfläche, bisweilen nur 4 bis 5 Fuss, bisweilen aber auch höher denn 8 Fuss. Die Entfernung ist gemeiniglich desto grösser, je stärker die Elektricität ist, aber sie ist dieser Intensität nicht proportional, indem diese durch den hygrometrischen Zustand der Luft und noch vielleicht durch andere unbekannte Ursachen modificirt wird[16]).

II. Das Wasser, sobald es aus dem tropfbar-flüssigen Zustande in den gasförmigen übergeht, bindet bekanntlich eine Quantität Wärme und macht sie wiederum frei, sobald es in die flüssige Form zurücktritt, und dasselbe ist mit der Elektricität der Fall[17]). Hieraus ist zu erklären, was Tralles beobachtete, dass das Elektrometer in der Nähe von Cascaden, welche sich in Staubregen endeten, gemeinig-

16) Vgl. v. Saussure *Voyages dans les Alpes* Tom III. p. 285.

17) Davy in Gilb. *Annal.* Bd. XXVIII. p. 192.

Digitized by Google

lich stark — *E* zeigte. Saussure[18]) hat dies dahin beschränkt, dass dies nur der Fall sei, wenn die Luft noch nicht hinreichend mit Dünsten gesättigt ist, so dass noch eine Verdunstung Statt finden könne. Daher sagt Schübler[19]): „Die Elektricität der Regen, nicht nur bei Gewittern, sondern auch bei gewöhnlichem Regen, ist in der Regel desto stärker, je grösser die Wassermenge ist, welche sich in derselben Zeit aus der Atmosphäre niederschlägt; bei heiterem Himmel wird die Elektricität desto stärker, sobald sich ein Nebel bildet, und vermehrt sich, so wie dieser dichter wird. Am Fusse der grösseren Wasserfälle der Alpen zeigt selbst der fein vertheilte Wasserstaub starke Elektricität, wenn man ihn unmittelbar auf die Scheibe eines Elektrometers fallen lässt; schon Wasserfälle von 12 bis 18 Fuss Höhe zeigen die Erscheinung deutlich; die fallenden, kleineren Tropfen haben — *E*, während die von ihnen aufsteigenden Dünste + *E* erhalten; um wie vielmehr muss dieses bei Wassertropfen der Fall sein, welche aus Höhen von einigen, vielleicht mehreren tausend Fuss herabfallen; sie müssen desto stärker verdunsten und dadurch desto mehr Elektricität und Kälte erzeugen, einen je grösseren Weg sie durchlaufen.“ Es geht ferner aus dem obigen Satze hervor, dass im Laufe eines Tages

18) *Voyages dans les Alpes* Tom. V. p. 107.
19) Schweigger's *Journal* XLIV. p. 232.

Digitized by Google

Veränderungen in den Intensitätsanzeigen eines Elektrometers Statt finden werden, die der Temperatur, d. h. der Geschwindigkeit des aufsteigenden Luftstroms und der Quantität der Verdunstung proportional sein müssen. Diese Periodicität in der Intensität der atmosphärischen Elektricität, diese elektrische Ebbe und Fluth, analog den von der Temperatur abhängigen täglichen Barometervariationen, ist schon von Saussure[20]) und dann von allen Physikern nachgewiesen worden, welche sich nach ihm mit Beobachtungen der Elektricität im Freien beschäftigt haben, und namentlich hat sie Maréchaux vermittelst seines Elektromikrometers

---

20) De Luc (*Bibliothèque universelle.* 1811. Octbr. p. 97 folgd. Schweigger's *Journal* IV. p. 183) sagt, dass als Resultat einer Reihe von Beobachtungen, die von Saussure bei Genf an einer mit seinem Elektrometer versehenen Wetterstange angestellt worden, sich Folgendes ergebe: Gewöhnlich vermehrt sich die elektrische Intensität vom Aufgange der Sonne bis Nachmittag (dies ist aber nach den gleich anzuführenden Beobachtungen Schübler's nicht ganz genau), wie es die + Divergenz der Kügelchen anzeigte. Sobald das Hygrometer anfing, eine reelle Abnahme der Feuchtigkeit anzuzeigen (nämlich des Wasserdampfes), näherten sich die Kugeln, und in der Zeit, als der Thau sich zeigte, war das elektrische Gleichgewicht durch Neutralisirung der + *E* mit der — *E* wieder hergestellt. Schon vor Saussure hatten le Monnier (*Mémoires de l' Académie de Paris.* 1752. p. 240—241), Beccaria (*Della elettricità terrestre atmosferica.* §. 1087 folg.) und Gardini (*De influxu electricitatis atmosph.* §. 50 und 51) diese periodischen Veränderungen der Luftelektricität nachgewiesen *).

Digitized by Google

wahrgenommen[21]). Die genauesten Beobachtungen über diesen Gegenstand sind die von Schübler angestellten. An heiteren, ruhigen Tagen hat die Atmosphäre stets + *E*; kurz vor Sonnenaufgang erreicht diese ihr Minimum, beim Aufgange zeigt sie sich und nimmt langsam zu: in der ersten Stunde ist das Wachsen unbedeutend, Saussure's Haarhygrometer nähert sich indessen langsam der Trockenheit (obgleich dies wegen der Zunahme der Temperatur nur scheinbar ist), der Morgenthau fällt, die unteren Luftschichten condensiren geringe Quantitäten von Dünsten, und die Elektricität nimmt nun äusserst schnell zu, so dass sie wenige Stunden nach Aufgang der Sonne ihr erstes Maximum erreicht, im Mai gewöhnlich um 8 Uhr. Jetzt fängt die Temperatur sehr schnell zu wachsen an, die Luft füllt sich immer mehr und mehr mit Dünsten, die condensirten Wassermassen treten in die Gasform zurück, der Himmel nimmt eine dunkler blaue Farbe an. Die Elektricität erhält sich nur kurze Zeit auf dem Punkte ihres Maximums, oft nicht 15 Minuten, dann fängt sie an sich langsam zu vermindern, und zwar langsamer, als sie zugenommen hatte, bis sie um 2 Uhr, im Sommer zwischen 4 und 5 Uhr, ihr Minimum erreicht, gerade um den Zeitpunkt, wo in der Luft die geringste Quantität von Wasserdampf vorhanden ist. Eine Stunde vor

21) Gilb. *Annal.* XVI. p. 124.

Digitized by Google

Sonnenuntergang tritt sie wieder hervor, aber langsam, mehr und mehr, je tiefer die Sonne unter den Horizont hinabsinkt; am stärksten nimmt sie wenige Zeit nach dem wirklich erfolgten Untergange der Sonne zu, worauf sie 1½ bis 2 Stunden nachher ihr zweites Maximum erreicht. Jetzt erscheinen nun auch die Niederschläge, die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit. Auf diesem Maximum erhält sich die Elektricität nur sehr kurze Zeit, worauf sie wiederum abnimmt und kurze Zeit vor Sonnenaufgang ihr Minimum erreicht. Man sieht durchaus keinen Parallelismus mit der Temperaturcurve, desto mehr aber mit der jedesmaligen Quantität von dampfförmigem Wasser, welches in der Atmosphäre vorhanden ist. Wäre diese atmosphärische Ebbe und Fluth eine Folge des Aufsteigens erwärmter Luftmassen am Tage und des Herabsinkens erkalteter bei der Nacht, so müsste der Gang der atmosphärischen Elektricität parallel der Temperaturcurve sein, oder nur ein Maximum und nur ein Minimum Statt finden. Schübler erklärt diese Erscheinung ganz richtig aus dem Freiwerden der Elektricität beim Niederschlage der Dünste, nur kann ich nicht mit seiner Erklärung des ersten Maximums übereinstimmen, welches offenbar von denselben Ursachen, wie von der Bildung des Morgenthaus, von dem Eintreten des Temperaturminimums bei Sonnenaufgang, herrührt[22]). Nachstehende Tafel

22) Kämtz in Schweigger's *Journal* XLVIII. p. 41

Digitized by Google

giebt über den Gang des Elektrometers im Vergleich mit den übrigen meteorologischen Instrumenten näheren Aufschluss:

Beobachtungsstunden.	Elektrom.	Therm.	Witterung.	Barometer.	Magnetnadel.
4u M.	+ 5°	+ 9°,⅓	Aufgang der ⊙ 4u 34′. Der Himmel vollkommen heiter. Bildung des Thaus, der Himmel mit Dämpfen bedeckt.	Das Barometer steigt von 4u Morgens bis 8u Morg.	Die Magnetnadel declinirt nach O. bis 6, 7, 8 u. Morgens, je nach der Jahreszeit.
5 —	+ 6½	+ 9,5			
6 —	+ 8	+ 10,5			
7 —	+ 11	+ 12,1			
8 —	+ 13	+ 13,5			
9u M.	+ 10	+ 15,5	Verminderung der Dämpfe; der Himmel klärt sich vollkommen auf, tiefer blaue Farbe desselben.	Das Barometer fällt von 8u M. bis 4u Abends.	Die Nadel kehrt gen W. zurück, bis 2u Abends
10 —	+ 8	+ 11,0			
12 —	+ 7	+ 20,1			
2u Ab.	+ 6	+ 21,6			
4 —	+ 5⅓	+ 21,3			
5 —	+ 5	+ 20,9			
6½ —	+ 6	+ 20,0	Untergang der ⊙ 7u 26′. Der Himmel bedeckt sich mit Wolken.	Das Barometer steigt bis 10u Abends.	Die Nadel zeigt wieder mehr nach O. bis 11u Abends.
7½ —	+ 8	+ 17,5			
8½ —	+ 12	+ 15,5			
9½ —	+ 8	+ 13,0	Vollkommen heitere Nacht, ganz ruhig ohne Nebel.	Das Barometer fällt bis 4u Morgens.	Die Nadel geht zurück nach W.
10½ —	+ 7	+ 12,1			
12 —	+ 6½	+ 11,0			
2u M.	+ 5½	+ 10,1			

Selbst bei bedecktem Himmel treten noch Spuren dieser Periodicität hervor. Die Zeit-

---

erklärt dies gewiss richtig dahin, dass die Sonne, sobald sie durch ihre Strahlen die Atmosphäre zu erwärmen anfängt, die während der Nacht gebildeten Wolken auflöst, so dass die Wärmestrahlung wieder erfolgen, der Boden erkalten und aufs neue, oder, wenn die ganze Nacht hindurch der Himmel mit Wolken bedeckt gewesen war, nun erst die Bildung von Thau oder Reif eintreten kann.

Digitized by Google

punkte der Maxima und Minima sind in den verschiedenen Jahreszeiten verschieden und richten sich nach den Zeitpunkten des Aufganges und Untergangs der Sonne. Die grösste Zeitdauer zwischen dem Morgen- und dem Abendmaximum tritt um die Mitte des Sommers ein, die kleinste im Winter, wo beide Maxima sich bisweilen bei bedecktem Himmel so confundiren, dass nur eine Periode hervorzutreten scheint; bei heiterem ist dies jedoch nicht der Fall. Auch in den verschiedenen Jahreszeiten verändern sich die Epochen der Wendestunden, was von den Temperaturveränderungen zum grossen Theile mit herrührt. An heftigen Wintertagen pflegt daher das erste Maximum sehr spät, das zweite sehr früh einzutreten. Den 29. Januar 1815 beobachtete Schübler:

Beobachtungsstunden.	Elektrom.	Thermom.	Bemerkungen.
6 u Morg.	+ 14°	— 18,5	Der Himmel war vollkommen klar, heftige Winterkälte. Aufgang der Sonne 7 u 33′. Die Luft bis 11 u mit Wolken gefüllt, wo sie sich allmälig aufklärt.
7 —	+ 15	.....	
8 —	+ 25	.....	
9 —	+ 32	— 15,3	
10 —	+ 37	— 13,4	
11 —	+ 40	.....	
12 u Morg.	+ 37	— 8,8	Das erste elektrische Maximum trat etwas später als gewöhnlich ein, das zweite etwas früher, eine Wirkung der grossen Kälte. Untergang der Sonne 4 u 27′. In der Nacht starke Nebel, daher stärkere El.
2 u Ab.	+ 31	— 6,9	
3 —	+ 35	.....	
5 —	+ 40	— 8,8	
6 —	+ 26	.....	
10 —	+ 36	— 12,5	

Digitized by Google

Die Intensität der elektrischen Periode hängt vom Hygrometerstande ab; am stärksten ist sie, wenn sich nach einem Regen die Atmosphäre plötzlich aufklärt, weil alsdann die Verdunstung, also auch die Condensation des Abends am stärksten ist, am schwächsten, wenn anhaltende Trockenheit durch trockne Landwinde hervorgebracht wird.

Das Verhältniss des elektrischen Minimums zu dem Maximum, d. h. der Unterschied der Variationen der Elektricität, ist im Sommer fast doppelt so gross als im Winter. Er betrug nämlich, nach Schübler's Beobachtungen:

im Juni	1 : 2,87
im Juli	1 : 2,96
im December	1 : 1,56
im Januar	1 : 1,85

Das Verhältniss scheint direkt proportional der Grösse des halben Tagebogens der Sonne zuzunehmen. Die Intensität der Elektricität der Nebel ist gemeiniglich ihrer Dichtigkeit in den untern Luftschichten proportional; sie erreicht ihren höchsten Grad in den Wintermonaten während der kalten Tage, wo selbst die mit Schnee und Eis bedeckte Erde dazu beiträgt, die Elektricitätsableitung zu verhindern. Aus dem oben angeführten Satze folgt ferner unmittelbar, dass die Intensität der atmosphärischen Elektricität in verschiedenen Jahreszeiten verschieden, und namentlich im Sommer grösser sein werde als

Digitized by Google

im Winter, was denn auch aus Schübler's Beobachtungen genügend hervorgeht: dass die Intensität und die entsprechenden Angaben des Elektrometers von den Polen nach dem Aequator zunehmen werden, wie dies auch Alex. v. Humboldt dargethan hat. In Europa nämlich betrug die Divergenz der Korkkügelchen nur 1‴[23]), in Amerika dagegen 3 bis 4‴[24]). Wir haben hier dieselbe Ursache, welche das Steigen des Hygrometers, das Fallen des Barometers hervorbringt, die Temperaturzunahme. Zwar sind die Gewitter in den Tropengegenden

---

23) *Journal de Physique* XLVIII. p. 193.

24) *Voyage aux régions équinox.* Tom. VI, p. 178. Es ist daher unrichtig, wenn Schouw (Grundzüge einer Pflanzengeographie. Berlin. 1823. S. 387) sagt: „Da man in den Polarländern eine sehr starke Luftelektricität spürt, diese dagegen nach Humboldt's Berichte (vergl. *Tableau physique des régions équinoxiales* p. 100) in den niederen Gegenden der heissen Zone gering ist: so scheint man eine Abnahme derselben vom Pole gegen den Aequator annehmen zu dürfen; welches auch durch die feuchte Luft der heissen Zone und die trockene der kalten erklärbar wird.“ Diese Erklärung beruht aber auf einem Irthume, indem die Intensität der atmosphärischen Elektricität nicht von der grösseren oder geringeren Quantität gasförmig in der Luft enthaltener Dünste, also nicht von dem Stande des Hygrometers, sondern von der grösseren oder geringern Menge von Wasserdampf abhängig ist. Schouw fährt fort: „Insofern indessen die Luftelektricität als Blitz hervortritt, scheint das umgekehrte Verhältniss Statt zu haben; doch ist dies Phänomen zu sehr von den Localverhältnissen abhängig, und es sind überhaupt zu wenige Beobachtungen vorhanden, um dies Gesetz aufstellen zu können.“

Digitized by Google

im Allgemeinen seltener[25]) als in den mittleren Breiten, aber auch dann um so heftiger, so dass sie namentlich in Indien in einer über alle Maassen furchtbaren Stärke eintreten[26]). Die Ursache ihrer Seltenheit in den tropischen Gegenden, welche schon den alten Schriftstellern nicht unbekannt war[27]), ist die, dass, wenn ein Niederschlag Statt findet, dieser gemeiniglich in der ganzen Höhe der Luftsäule eintritt. Aus demselben Grunde sind die Gewitter so selten in den Polargegenden[28]). Auf dem Meere können

---

25) Schon in Aegypten, noch mehr in Aethiopien, kennt man den Blitz fast gar nicht, was früher zu den wunderlichsten Hypothesen Veranlassung gegeben hat. s. Kraft *Praelection. phys.* III. p. 310. Indessen ist die Seltenheit der Gewitter in Aegypten keiner andern Ursache als der fast völligen Abwesenheit aller atmosphärischen Niederschläge †) (mit Ausnahme des Thaues, welcher um so häufiger ist**) zuzuschreiben, wogegen in den Tropengegenden die Gewitter in bestimmten Zeitpunkten des Jahres, zugleich nämlich mit den periodischen Niederschlägen, oder vielmehr bei dem Übergange von der trockenen Jahreszeit zur Regenzeit eintreten. Man sieht hieraus, wofür sich auch andere Belege in Menge auffinden lassen, wie sehr die sichtbare atmosphärische Elektricität von der Masse des in den tropfbaren Zustand zurücktretenden Wasserdunstes und den Perioden, in welchen dieser Rücktritt erfolgt, abhängig ist.

26) Elphinstone *Beschreibung von Kabul*, übers. von Rühs. I. p. 201.

27) Arrian. ap. Stob. *Eclog. phys.* I. p. 610.

28) Scoresby *Account of the arctic regions* I. p. 415. vgl. v. Froriep's *Notizen* Bd. XXVII. p. 105. *Formidabilem vim, et effectum habent tonitrua, fulmina, atque coruscationes in septentrionalibus terris, praesertim*

sie nicht häufiger sein[29]), wie dies aus derselben Ursache klar ist; es sei denn, dass herabsteigende Luftströmungen eine besondere Trockenheit der unmittelbar über dem Meere ruhenden Atmosphäre verursachen, wie dies Lamarche beobachtete[30]). Dass in denjenigen Ländern, wo die Trockenheit der Luft durch kalte Luftströmungen, die mit besonders warmen abwechseln, unterhalten wird, und wo daher bei jähen Temperaturveränderungen wohl ein starker Thau, aber nur selten eine so bedeutende Tempera-

---

versus loca opposita Meridiei. Apparent saepissime in partibus Aquilonis, sub sereno caelo, totis noctibus, in Septembri clara atque continua fulmina, quae magis minantur, quam lacerant inspectores. Fulmen vero natura nubium exortum, tonitruque elapsum, gravissima damna mortalibus, aliisque rebus ibidem infert. Plures etenim homines sublimiora loca inhabitantes cum jumentis interimit: excelsas etiam turres, et aedes dura pice linitas (quod mirum non est) inexstinguibili flamma consumit, altas arbores vel ex summo vertice directe findit, vel obliqua corrosione contundit. — Olaus Magnus *De Gentib. septentrionalibus historia in epitomen redacta.* Amberg. 1599. 12. p. 8. Diese Worte reichen hin, die Behauptung der Alten zu widerlegen, dass in den nordischen Gegenden Blitze nie vorkämen. Vergl. Herodot IV, 28. Diodor. Sicul. III, 34. p. 199 der Ausgabe von Wesseling. Arrian bei Stob. *Eclog. phys.* a. a. O. — Scoresby *Account* etc. I. p. 410 leugnete, in den Gegenden, welche zwischen 65° n. Br. und dem Nordpole liegen, jemals einen Blitz gesehen zu haben, was durch die Angaben von Ellis, Hudson u. a. widerlegt wird.

29) Volney *Tableau du sol et du clim. des états unis de l'Amérique. p.* 197.

30) Gilb. *Annal.* LXVI. p. 160.

turerniedrigung Statt findet, dass in der ganzen senkrechten Luftsäule ein Niederschlag Statt finde, die Gewitter häufig sein werden, ist nach dem Vorhergehenden klar. Das erstere findet in den vereinigten Staaten Nordamerikas Statt, und daher auch, wie sich erwarten liess, eine besonders starke elektrische Spannung[31]). Man sieht daher ein, weshalb die Gewitter in Indien während der Zeit der S. W. Moussons zu den grössten Seltenheiten gehören, dagegen während der übrigen Hälfte des Jahres kein Abend vergeht, an welchem sie nicht beobachtet würden[32]).

Aus dem Freiwerden der Elektricität erklären sich Erscheinungen wie die von Huth in Charkow beobachtete[33]). Der Himmel war nämlich mit leichten Wolken bedeckt, als plötzlich eine ausserordentliche Helligkeit sich über den ganzen Himmel verbreitete, eine Entbindung nämlich von Elektricität, welche von dem Uebergange des gasförmigen Dunstes in den tropfbar flüssigen Zustand herrührte. Sobald diese Lichtperiode vorüber war, erschien *„der Himmel durchaus mit dunklen Wolken, in weit grösserem Maasse als zuvor, bedeckt.“* Solche Lichterscheinungen am Horizonte pflegen die Vorboten eines Sturmes zu sein, wie dies Atwatk

---

31) Volney *Tableau* etc. p. 242.
32) Le Gentil *Voyage aux mers des Indes.* II. p. 17.
33) Gilb. *Annal.* XXX. p. 239.

Digitized by Google

in Ohio beobachtete[34]). Hieraus erklärt sich das sogenannte *Wetterleuchten* (bei den Franzosen *éclairs de chaleur*), das nicht bloss am Horizonte erscheint, sondern welches Alex. v. Humboldt[35]) auch im Zenithe beobachtete, bei Wolken, welche eben keine bedeutende Höhe hatten. Saussure[36]) irrt daher, wenn er mit Anderen das Wetterleuchten bloss für ein entferntes Gewitter hält. Dass diese Ansicht nicht die richtige sei, ersieht man schon aus der übergrossen Häufigkeit des Wetterleuchtens auf den Meeren der Tropengegenden[37]), wo sie v. Spix und v. Martius[38]) jeden Abend wahrnahmen, aber nie ein Gewitter beobachteten. Hieher gehört die Erscheinung, welche Saussure mit folgenden Worten erzählt:

„Lorsque je me trouvai sur le mont Môle et sur la cime du passage des fours, il faisait un beau soleil, qui réchauffant les bassins des montagnes adjacentes en elevait des vapeurs; et ces vapeurs se condensaient sous la forme de petits nuages blancs, qui venaient passer au dessus de moi. Lorsque j'élevai au dessus de ma tête un petit électromètre très-sensible,

34) *Edinburgh Journal of Science.* VII. p. 185.
35) *Voyage aux rég. équinox.* Tom. VII. p. 9. vgl. Brandes *Beiträge zur Witterungskunde.* p. 355.
36) *Voyages dans les Alpes.* Tom. VI. p. 264.
37) *Neue schwedische Abhandlungen.* 1780. I. p. 97.
38) *Reise nach Brasilien.* I. p. 76.

Digitized by Google

il donna des signes d'électricité dans le moment du passage de ces nuages, mais il n'en donnait plus aucun dès que les nuages étaient éloignés [39]).“

Saussure glaubte, dass in diesem Falle die Wolken nicht sowohl eigene Elektricität mit sich führten, als vielmehr dieselbe von oberen Schichten herableiteten und so eine Verbindung zwischen denselben und dem Elektrometer bildeten. Aber das Mittel, dessen er sich zu diesem Zwecke bediente, eine Kugel, welche mit seinem Elektrometer durch einen feinen Metallfaden verbunden war, emporzuwerfen und so den Elektricitätszustand der oberen Schichten zu bestimmen [40]), ist nach Erman's Untersuchungen unzureichend. Bei dem heitersten Wetter erhielt Saussure auf diesem von ihm eingeschlagenen Wege Zeichen von Elektricität, bei einer Emporschleuderung der Kugel selbst nur zu 50 oder 60 Fuss. Diese Elektricität fand Saussure immer +, sowohl in den Ebenen, als auf den Gebirgen, in allen Jahreszeiten, bei jedem Winde, selbst wenn die Erde mit Schnee bedeckt war [41]). Dasselbe hatte schon früher

39) A. a. O. I. p. 331. vgl. III. p. 269.

40) A. a. O. Tom. III. p. 274.

41) Ebendas. p. 277. Uebrigens stimmt dies vortrefflich mit den obigen Bemerkungen überein, indem Saussure die + *E*, seinem Verfahren gemäss, durch Vertheilung erhielt.

Digitized by Google

Beccaria gefunden. Er glaubte daher, dass die Affection des Elektrometers beim Vorübergange der Wolken nicht sowohl einer vertheilenden Eigenschaft derselben, als vielmehr ihrem Leitungsvermögen zuzuschreiben sei. Deutliche Einsicht in die Ursachen dieses Phänomens hat demnach Saussure nicht gehabt, wie dies auch schon aus seinen Ausdrücken: Vorübergehen der Wolken u. s. w., hervorgeht, denen zufolge er die Wolken als etwas fertig Gebildetes, nicht als einen Process ansieht. Bei dem Entstehen des Niederschlages wurde eine Quantität Elektricität frei, welche aber, sobald die Dämpfe wieder in den dunstförmigen Zustand zurücktraten, gebunden wurde. Daher die unterbrochenen Anzeigen des Elektrometers[42]). Hieher endlich gehört eine Erscheinung, welche den Physikern viel zu schaffen gemacht, und um derentwillen van Mons sogar zwei verschiedene Arten von Blitzen angenommen hat, nämlich diejenigen Blitze, welche die Wolke bloss erleuchten und, ohne dass man einen deutlichen Funken wahrnimmt, horizontal durch sie hindurchfahren. Brandes[43]) hält sie für Blitze, deren Funke bloss von der Wolke verdeckt wird; aber woher ihre horizontale Ausdehnung? Bellani hält sie für eine im Fortgange des

---

42) Hieher gehört die in Froriep's *Notizen* Bd. XXVII p. 138 beschriebene Erscheinung.

43) *Beiträge zur Witterungskunde.* p. 350.

Digitized by Google

Blitzes erfolgende Mittheilung der Elektricität an die umgebenden Luft- oder Dunsttheile. Aber diese könnte nicht von so anhaltender Dauer sein. Diese Blitze sind nach meiner Ansicht nichts Anderes als die durch neuen Niederschlag frei werdende Elektricität, und ihre horizontale Ausdehnung wird durch die ganz ähnliche Erscheinung erläutert, dass die untere Fläche des Cumulus stets horizontal ist, was nicht, wie Brandes will[44]), deswegen der Fall ist, weil sie von der Erde und den unteren Luftschichten abgestossen werden, sondern mit Howard dahin erklärt werden muss, dass sie auf derjenigen Luftschicht schwimmen, welche gerade noch genug Wärme besitzt, um das in ihr vorhandene Wasser in Dunstform zu erhalten[45]).

Es bleibt noch ein dritter Punkt zu erörtern übrig, den ich nur kurz der Vollständigkeit wegen, und um keine Lücke im Vortrage zu lassen, berühren will, obgleich er schon hinreichend von früheren Physikern, namentlich von Reimarus, erläutert worden ist, nämlich die Art und Weise, wie die Entladung der Wolken geschieht. Wenn man eine dünne, nicht leitende Fläche, z. B. eine Glastafel, zwischen zwei leitende, wie zwei Metallplatten, legt, so

44) A. a. O. p. 320.

45) Die meisten Winde nämlich wehen horizontal, also parallel der Erdoberfläche, obwohl, wie Benzenberg (Gilb. *Annal.* Bd. VIII. p. 240) gezeigt hat, dies nicht ausschliesslich der Fall ist.

Digitized by Google

dass sie über die Enden derselben rings umher hervorsteht, und die eine der Metallplatten dadurch isolirt wird, während die andere mit dem Fussboden in leitender Verbindung steht: so verbreitet sich die Elektricität, welche man der isolirten zuführt, auf der berührenden des Nichtleiters und versetzt zugleich die entgegengesetzte Oberfläche, auf welcher die nicht isolirte Metallplatte liegt, und zugleich auch die Metallplatte selbst in den Zustand entgegengesetzter Elektricität. Dieses bekannte Phaenomen lässt sich nun leicht auf die Atmosphäre anwenden. Die Wolke, welche in einer Luftschicht hervortritt, bezeichnet die nicht isolirte Metallplatte, und zwar hat sie — *E*; die zwischen ihr und der Atmosphäre liegende Luftschicht ist der Nichtleiter, und auf der Oberfläche der Erde selbst wird in der ganzen Ausdehnung der Wolke durch Vertheilung + *E* erregt. Dieser Process ist an sich sehr deutlich; noch mehr versinnlicht wird er durch Kirchhoff's bekannten Apparat, wodurch zugleich gezeigt wird, wie sich die Wolke, in dem Augenblicke, wo der Durchbruch der Elektricität durch die Luft erfolgt, die Neutralisation beider Elektricitäten also Statt findet, wirklich zur Erde herabsenkt. Die Wolke ist nicht perpetuirlich geladen, sondern erhält nur dann — *E*, wenn ein neuer Niederschlag erfolgt. Ein auffallendes Beispiel dieser Wirkung der Wolken durch Vertheilung beobachteten Saussure und Pictet, als sie sich auf dem *Mont*

Digitized by Google

Bréven unter einer Gewitterwolke befanden, welche auf der ihr gegenüberliegenden Erdoberfläche eine so starke elektrische Spannung erregte, dass die angeführten Beobachter und alle ihre Begleiter völlig elektrisirt waren und dieselben Wirkungen empfanden, welche eine Elektrisirmaschine auf diejenigen ausübt, welche einen Isolirstuhl bestiegen haben[46]). Die elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre beruhen auf dem einfachen Grunde, dass die trockne Luft ein absoluter Nichtleiter für die — *E* ist. Würde sie diese vorzugsweise und nicht die + *E* leiten, so würde ein fortwährendes Ausströmen der Elektricität in dem Falle, wo die oberen Wolken — *E* haben, Statt finden, ohne dass ein so mächtiger Durchbruch durch die nicht leitende Schicht erfolgte, wie der Blitz ist[47]): wogegen bei dem wirklichen Zustande unserer Atmosphäre Fortleiten nur dann Statt findet, wenn die obere Wolke + *E*, die gegenüberstehende Erdoberfläche — *E* hat, oder wenn die Luft mit Wasserdampf angefüllt ist[48]). Daher

---

46) *Voyages dans les Alpes.* Tom. III. p. 75—80.

47) Dass häufig die elektrischen Explosionen von der Erde ausgehen, dafür ist der beste Beweis der, dass Thiere durch Eindringen der Elektricität unter ihren Bauch getödtet worden, was namentlich in Nordamerika nach Rafinesque's Zeugniss geschehen ist. S. *Annales générales des sc. nat.* VII. p. 398. Gilb. *Annal.* LXIX. p. 109. Dasselbe versicherte schon früher Maffei. *Journal des savans d'Italie.* Tom. I. p. 188.

48) Es kann jedoch möglich sein, dass nur ein Theil der

sahen Allamand[49]) und andere Physiker bei heftigen Regengüssen[50]), v. Langsdorff[51]) bei starkem Nebel, die Oberfläche gut leitender Körper von elektrischem Lichte bedeckt glänzen. Man wollte dabei ein Geräusch, dem angeblichen Tone des Nordlichts ähnlich, wahrgenommen haben. Bei ähnlichen Erscheinungen hat auch Macvicar[52]) auf dem Ben-Nevis in Schottland ein Geräusch gehört, welches dem eines Funkensprühens der leydener Flasche ähnlich war, Lampadius bei einem Schneewetter[53]). — Daher ist es ferner zu erklären, dass auf den meisten

---

auf der Erdoberfläche ruhenden Atmosphäre mit Wasserdämpfen gefüllt sei, so dass von der untern Wolkenfläche zu dieser Dampfgränze ein Uebersprung der elektrischen Materie Statt finden muss. Dies war namentlich auf der Insel King, während Freycinet's Aufenthalt auf derselben, der Fall. „*Je dois observer*, sagt Freycinet (*Voyage de découvertes à l'hémisphère austral.* Vol. II. p. 27), *que pendant notre séjour à l'île King nous fumes nous-mêmes d'autant plus étonnés de la fréquence et de la force du tonnerre, dans ces régions, que l'atmosphère ne cessa presque jamais d'être surchargée de brumes très-froides et de brouillards épais.*"

49) *Bibliothèque univers.* XVII. p. 154. *Annales de Chim. et de Phys.* XVII. p. 305. *Edinburgh philosoph. Journal.* V. p. 391.

50) Vergl. *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. X. p. 284. 285.

51) *Bemerkungen auf einer Reise um die Welt.* Bd. II. p. 88.

52) *Journal of Science.* III. p. 312. *Edinburgh Encyclopaedia.* VIII. p. 491. Schweigger's *Journal.* LVI. p. 392.

53) Gilb. *Annal.* LXX. p. 119. vgl. v. Froriep's *Notizen* XI. p. 312.

Digitized by Google

Inseln, von denen mehr oder weniger gilt, was Freycinet[54]) von dem Feuchtigkeitszustande der über der Insel King ruhenden Atmosphäre erzählt, die elektrischen Explosionen äusserst selten sind, und zwar so selten, dass nach Forster[55]) die ältesten Einwohner von St. Helena sich keiner derselben erinnern konnten, und dasselbe berichtet v. Langsdorff[56]) von Nukahiwa.

Die Intensität der atmosphärischen Elektricität ist selbst unter demselben Breitengrade an verschiedenen Orten verschieden; im Allgemeinen ist sie stärker auf isolirten Höhen, unbemerkbar in Häusern, unter Bäumen, in Höfen und überhaupt an Orten, welche von allen Seiten mit leitenden Gegenständen umgeben sind; in den Städten jedoch auf grossen Plätzen, besonders aber auf Brücken fand sie Saussure oft stärker als im freien Felde[57]). Die Intensität hängt nicht sowohl von der absoluten Höhe, als vielmehr von der relativen Erhebung über die benachbarten Gegenstände ab; so fand sie Saussure stärker auf dem hervorspringenden Winkel einer Terrasse von 15 bis 20 Fuss Höhe über den Umgebungen, als mitten in einer aus-

54) A. a. O. II. p. 9.

55) Cook *Voyage à l'hémisphère austral.* Paris 1779. Tom. V. *Observations physiques et morales* de Mr. Forster. p. 107.

56) A. a. O. I. p. 88.

57) *Voyages dans les Alpes* Tom. III. p. 306.

Digitized by Google

gedehnten Ebene, auf einem hohen Berge, weil die Terrassenspitze isolirter war, weniger Berührung mit der Erde hatte als die Hochebene. Ist der Himmel bedeckt, so ist es unmöglich, irgend eine Regelmässigkeit in den Veränderungen der atmosphärischen Elektricität wahrzunehmen; man findet alsdann keine Uebereinstimmung, weder mit den verschiedenen Tageszeiten, noch mit den verschiedenen Zuständen der Atmosphäre. Die Ursache ist deutlich. Wenn entgegengesetzte und in verschiedenen Höhen verschiedene Winde wehen, wenn Wolken in unserem Zenithe über andere Wolken hinrollen, so bringen diese Winde und Wolken, welche wir durch kein äusseres Zeichen wahrzunehmen im Stande sind, und die dennoch Einfluss auf die Schicht ausüben, in welcher wir unsere Versuche anstellen, Veränderungen hervor, von denen wir bloss die Resultate beobachten, deren Ursachen und Beziehungen aber anzugeben wir nicht im Stande sind. Daher kommt es, dass während eines Gewitters die Elektricität einen bedeutenden Grad von Intensität erreicht, plötzlich aufhört, wieder merklich wird, aus dem positiven Zustande plötzlich in den negativen übergeht, und umgekehrt: und Saussure hat diese Verschiedenheiten bisweilen mit einer solchen Geschwindigkeit auf einander folgen sehen, dass er nicht die Zeit hatte, sie anzumerken. Fällt Regen ohne elektrische Explosionen, so sind die Veränderungen nicht so auffallend; indessen sind

Digitized by Google

sie doch immer unregelmässig, besonders in Bezug auf die Intensität, während die Qualität beständiger ist, indem gleichförmiger Regen oder Schnee gemeiniglich — *E* geben. Bei bedecktem Himmel, wenn weder Regen fällt, noch Gewitter Statt findet, befolgt die Elektricität ungefähr denselben Gang wie bei heiterem Himmel. Sehr starke Winde verringern gemeiniglich ihre Intensität, indem sie die Luftschichten mit einander vermischen, eine über die andere hintreiben und auf diese Weise das elektrische Fluidum gleichmässig zwischen Erde und Luft verbreiten. Saussure[58]) hat indessen auch bei sehr heftigem Winde bisweilen Zeichen von sehr intensiver Elektricität wahrgenommen. Auffallend ist die Erscheinung, welche zuerst Lukas Howard[59]) wahrgenommen hat, dass, so lange

---

58) A. a. O. p. 308.

59) *Climate of London.* Vol. I. Tabl. VI. „$\frac{1}{4}$ 1807 *many distinct nimbi traversing the country in different quarters and discharging schowers of hail, which was highly charged with electricity. One of these being carefully examined throughout, presented the following phenomena. While the cloud was on the horizon in the NE and the shower behind it, the pith balls of the upper surface of the inverted cone of cloud had arrived in the Zenith, they opened negative and diverged slowly to fall 2", at which time pretty strong sparks were drawn from the conductor. During the remainder of the approach of the shower, they gradually closed again. At the moment, when the latter began to touch the observatory, they opened +, diverged more speedily, and the apparatus gave strong sparks for a considerable time +. As the cloud drew off to the SW., this dis-*

eine elektrische Regen- oder Hagelwolke in einiger Entfernung vom Zenithe ist, die Luft gemeiniglich + *E* hat, dass, wenn einmal der vorangehende Theil der Wolke über dem Leiter steht, sie die + *E* verliert und dann gar in — *E* übergeht. Dieser Zustand dauert indessen nur eine kurze Weile, kehrt dann zu + *E* zurück, welche anhält, bis die Wolke vorüber gegangen ist, wo wieder — *E* hervortritt, welche selbst durch die natürliche + *E* der Atmosphäre verdrängt wird[60]).

II.

Regen also erfolgt, wenn zwei nahe mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschichten von verschiedener Temperatur sich vermischen: er erscheint als stilles Gewitter, wie die Landleute sagen, wenn die Feuchtigkeit der zwischen der Wolke und der Erdoberfläche befindlichen Luftschicht hinreichend ist, um die Elektricität ohne Explosion abzuleiten.

Ich will nun die einzelnen Phänomene, welche den Hagel zu begleiten pflegen, zu-

---

charge gradually ceased, and the balls opened again — E, diverging gradually as before, then converging ad lastly were left a little charged + E. Vergl. Tom. II. p. 300.

60) Vgl. Foggo im *Journal of Science.* 1826. Nr. VII. p. 125. Baumgartner's und v. Ettinghausen's *Zeitschr.* I. p. 296.

Digitized by Google

sammenstellen und zugleich die Bedingungen angeben, unter denen er zu erscheinen pflegt.

Der Hagel kommt zu allen Tageszeiten vor, am Tage und bei Nacht. Letzteres ist seltener, mag aber wohl öfter geschehen, als man glaubt, da es zu dieser Zeit gemeiniglich an Beobachtern fehlt, und der Hagel nicht liegen zu bleiben pflegt[61]). So fiel den 2. Jan. 1803 bei — 5° R. Hagel in der Nacht[62]). Hasselquist[63]) beobachtete Hagel während der Nacht auf seiner Reise nach Palästina auf dem Meere, wie Leopold v. Buch anführt; Péron[64]) in der Nacht vom 14. zum 15. Juni 1802 an der Südspitze von Neu-Holland; den 30. Jan. 1741 Nachts fiel zu Montpellier Hagel[65]) Raschig[66]) beobachtete ein nächtliches Hagelwetter vom 25. zum 26. Juli 1821 zu Dresden[67]). Ei-

---

61) Indessen soll er bisweilen 8 Tage liegen geblieben sein. Musschenbroek (*Cours de Physique*, traduit par Sigaud de la Fond. Paris 1769. 4. Tom. III. p. 341) sagt: „*Je sais qu'il tomba de grêle dans la ville de Delfft à la fin du mois de Juillet et qu'elle y subsista pendant huit jours.*" Etwas Aehnliches erzählt Scheuchzer *Naturhistorie des Schweizerlandes*. 2te Aufl. III. p. 22.

62) Gilb. *Annal.* XIII. p. 371.

63) *Reise nach Palästina.* S. 17.

64) *Voyage de découvertes aux terres australes.* Tom. I. p. 341.

65) *Mémoires de l'Académie de Paris.* 1741. p. 218.

66) Gilb. *Annal.* LXXII. p. 434.

67) Man vergleiche noch Delcross in *Bibliothèque universelle* Tom. XIII. p. 154., und die ganze Reihe hieher

nen Hagelfall kurz vor Sonnenaufgang beobachtete Bellani[68]) im Juli 1806, was hier, wie man weiter unten sehen wird, vorzüglich wegen Volta's Theorie bemerkt wird.

Hagel kommt bei allen Temperaturen über 0° und selbst unter dem Gefrierpunkte vor.

Beispiele:

d. 2. Jan.	1803. Temp.	— 5°R.	Gilb. *Annal.* XIII. p. 371.
20. Febr.	1783.	— 0	*Ephem. Soc. Metcor. Pal.* Vol. III. 1783. p. 332.
26. Jan.	1783.	— 0,4	ebendas. p. 592.
14. März	—	— 0,5	ebendas. p. 632.

denen Jeder, welcher die angeführten Ephemeriden nachsehen will, noch mehrere Beispiele zugesellen kann. Wir werden aber weiter unten sehen, inwiefern dieser Satz in Bezug auf die Entstehung des Hagels Modificationen erleidet.

Ueber die eigentliche Gestalt der Hagelkörner hat Delcross eine ganze Reihe von Beobachtungen angestellt. Er fand sie sämmtlich als sphärische Pyramiden, von sehr verschiedenen Dimensionen. Das Ende *n* war meistentheils noch spitzig, häufig aber auch schon durch Schmelzen abgerundet, es deutete auf einen Kern mit concentrischen Lagen hin. Der Theil

---

gehöriger Beispiele, welche Arago gesammelt hat. Poggendorff's *Annalen* XIII. p. 344.

68) Baumgartner's und v. Ettinghausen's *Zeitschrift.* IV. p. 332.

Digitized by Google

m schien vom Mittelpunkte nach dem Umfange der Masse strahlig zu sein, und die kuglige Oberfläche *p* war drusig. Diese Bildung der einzelnen Hagelkörner (s. Fig. 1 und 2) führte darauf, dass sie nur Fragmente einer grösseren Kugelmasse wären, und dies bestätigte denn auch in der That der am 4. Juli 1819, Abends 8 Uhr, gefallene Hagel. Die Fig. 3 stellt einen Hauptquerbruch des Hagelkornes dar. Der kleinste innere Kern *o* mit concentrischem Gefüge ist von einem zweiten *b* umschlossen, der von undurchsichtigerem Weiss als das übrige ist und eine strahlige Struktur hat. Hierauf zeigen sich einige concentrische Schichten *e e e*, welche der Oberfläche jener kleineren Hagelstücke in Fig. 1 und 2 entsprechen. Die Masse, welche diesen ganzen Kern rings umgiebt, *c c c*, hat ein strahliges Gefüge und ist minder durchsichtig als der Kern *b*, am Lichte besehen auch minder weiss, vielmehr etwas bläulich, wie dichtes Eis, eine Verschiedenheit der Farbe und Textur, welche durch die verschiedene Schraffirung der Figur 3 dargestellt ist; die Strahlen gehen in dieser umhüllenden Eismasse, welche mit dem Theile *m* jener Hagelstücke übereinstimmt, in den Richtungen von dem Mittelpunkte nach dem Umfange der Kugel. Die Oberfläche *d d d* war nicht bloss drusig, sondern erschien mit zahllosen, verhältnissmässig ungeheuren Pyramiden besetzt, deren ursprünglich scharfe Spitzen jedoch durch

Digitized by Google

anfangende Schmelzung schon stumpf geworden waren[69]).

Der Hagel ist ein den gemässigten Zonen eigenthümliches Phänomen. In den Aequatorialgegenden, wo doch Alex. v. Humboldt[70]), Caldcleugh und Winterbotthom[71]) alle Tage nach Culmination der Sonne, wenn die Wärme ihr Maximum erreicht hatte, ein Gewitter beobachteten, macht ein Hagelfall einen grösseren Eindruck auf das Volk, als bei uns das Herabstürzen von Meteorsteinen[72]). Indessen sind einige Beispiele von Hagelwettern in Höhen unter 350 Toisen zwischen den Wendekreisen aufgezeichnet von Humboldt[73]), Thibault de Chanvallon[74]), Moreau de Jonnès[75]), Ramon de la Sagra[76]), und Péron[77]), welcher letztere erzählt, dass sich die

---

69) Gilb. *Annal.* LXVIII. p. 323 — 327. Man vergleiche noch Nöggerath in: *Verhandlungen der Leopold. Karol. Akademie der Naturforscher zu Bonn.* III. p. 569.

70) *Voyage aux rég. équinox.* Tom. X. p. 335. Gilb. *Annal.* VI. p. 191.

71) Dove de *barometri mutationibus.* p. 40.

72) Al. v. Humboldt *Voyage.* IV. p. 196. „*Les Insulaires des Philippines* ne *savent point de quelle couleur sont la grêle, la neige et la glace*", sagt le Gentil *Voyage aux mers des Indes* III. p. 16.

73) *Voyage.* VI. p. 350.

74) *Voyage à la Martinique.* p. 135.

75) *Sur le climat des Antilles.* p. 49.

76) Al. v. Humboldt *Essai politique sur l'île de Cube.* éd. en 8vo. II. p. 78.

77) *Voyage de découvertes à l'hémisphère austral.* I. p. 50.

Digitized by Google

ältesten Einwohner in Isle de France nur eines einzigen Hagelfalls entsinnen konnten. In höhern Regionen über 350 Toisen dagegen ist Hagel nichts Seltenes[78]). Während im tropischen Afrika, zum Beispiel, nach Brocchi's Bemerkungen[79]), zu Chartum in Sennaar, der Hagel in den Ebenen völlig unbekannt ist, so fällt er doch in höher belegenen Gegenden nicht selten, wie auf den Bergen, welche die Nilquellen umgeben[80]). In den Polargegenden ist Hagel äusserst selten, obwohl er auch hier von Scoresby[81]) mehrmals beobachtet worden ist. Indessen glaube ich, dass der Hagel bei bedeutenderen Kältegraden nichts Anderes sei als gefrorene Regentropfen, daher entstanden, dass bei einer Temperatur über dem Gefrierpunkte in höheren Regionen der Atmosphäre, durch Vermittelung der Winde, sich ein Niederschlag in tropfbarer Gestalt gebildet hatte. Wenn Winde wehen, so verbreiten sie sich nicht allemal in der senkrechten Luftsäule bis zur Erdoberfläche, wovon Langsdorff ein merkwürdiges Beispiel erzählt[82]). Die See war nämlich fast ganz ruhig und spiegelglatt, und die unteren Segel

78) Hagelwetter zu Sta. Fé de Bogota beobachteten Boussingault und Rivero den 8. und 29. August 1823. Morgens. Alex. v. Humboldt *Voyage aux rég. équinox.* X. p. 441.

79) Froriep's *Notizen.* XXV. p. 277.

80) Bruce *Travels.* 2. edit. Tom. V. p. 256. Ritter's *Erdkunde.* 2. Aufl. I. p. 204.

81) *Account of the arctic regions.* I. p. 424.

82) *Bemerkungen auf einer Reise um die Welt.* II. S. 189.

Digitized by Google

hingen, wie bei einer Windstille, ganz schlaff, die oberen aber waren bei einem regelmässigen steten Winde (SO.) so voll, dass das Schiff eine kurze Zeit hindurch 6 Meilen in einer Stunde lief. Auch Bruce [83]) erzählt ein hieher gehöriges Beispiel: „Pendant la nuit on distinguait constamment deux courans d'air; celui, qui était le plus bas venait du N.E. et tournait le matin un peu à l'E.; tandis que des nuages blancs, très-légers et très-élevés, courant rapidement du SO., indiquaient, que le vent régnait en haut dans cette direction." Bruce befand sich damals in Tscherkin in Abyssinien 15° n. Br., also entfernt von den Meeresküsten, wo diese Erscheinungen nicht selten sind [84]).

Und warum sollen Regentropfen bei ihrem Durchfallen durch die Atmosphäre nicht eben so gut gefrieren, wie Schneeflocken schmelzen, was Lambert in der Nähe von Chur beobachtet hat, wo es auf den Bergen schneite, in der Ebene regnete [85])? Abgesehen auch von dem Umstande, dass bei den grösseren Kältegraden die wärmeren Luftschichten die höheren Regionen der Atmosphäre einnehmen, so können ja viele Ursachen dazu beitragen, die Gränze, von welcher sich die proportional fortschreitende Abnahme

---

83) *Voyage aux sources du Nil.* trad. par Castéra. Tom. XI. p. 130.

84) Vergl. noch Volney *Tableau.* p. 187.

85) *Acta helvetica.* Vol. III. p. 325.

Digitized by Google

des Wärmestoffs datiren muss, die Curve der grössten Dichtigkeit in Bezug auf alle höheren Luftschichten, weiter emporzuschieben. Schon die Variationen der horizontalen Strahlenbrechung lehren, dass diese Linie nicht immer mit der Erdoberfläche zusammenfällt, und in heiteren Nächten ist, wie bekannt, dies nie der Fall.

Regen und Hagel, Schnee und Hagel, ja alle drei Arten von Niederschlägen fallen oft zu gleicher Zeit zusammen herab.

„Circa horam quartam pomeridianam copiosissime pluit, atque simul granula grandinis decidunt, dum interim coruscat et tonat spatio unius horae.“

Calandrelli *ad observ. Roman. Ephem. Soc. Met. Palat.* 1784. p. 521. *Nov.* 6.

„Horis pomeridianis 1, 2½ etc. per pauca minuta grandinat. Grandinis granula parva sunt, irregularem habent figuram, sunt opaca et exiguam duritiem habent. Excepta hora 7 vespert. constanter dum grandinat, validiore vi spirat SW. Hora 5½ cum grandine nivis flocculi aliqui decidunt.“

Idem. l. l. p. 509. *ad April.* 2.

„Hora 2. pom. per pauca minuta ningit et grandinat atque deinde spatio ¼ horae pluit.“

Idem l. l. p. 505. *Jan.* 21.

„Ab hora 11 mat. imbres subinde mixti grandine minore et dubie etiam nivibus.

Digitized by Google

Hora 12 meridie tempestas fulminea a longe. Hora $3\frac{1}{4}$ imber mixtus grandine majore rarius cadente, et circa horam 7 vespert. etiam sola nix cadit.“

Preuss *ad observat. Sagan. Ephem.* 1784. p. 369. *Mart.* 27.

„Hora 6. nix minori grandine mixtim cadit, postea etiam pluvia modica.“

Idem. ad obs. Sagan. 1783. p. 368. *Nov.* 27.

Bei dem Hagel findet gemeiniglich ein plötzliches Hervortreten der Wolke Statt.

„Der Blitz erscheint nicht vor der Wolke, sondern ganz bestimmt erst nachher, nicht vor der Aenderung der Form, sondern nachdem sie geschehen ist. Ein sehr neues Beispiel hiervon war das Westgewitter und der Hagel, die man am 5. Nov. 1813. in Berlin sah. Der Himmel war heiter im Zenith, trübe umher. Plötzlich weht schneller der warme Wind aus W., die Wolke bildet sich schnell, und es schien mit einem Male Nacht geworden zu sein. Blitz und Donner, die man sogleich darauf erwartete, erschienen auch eine halbe Minute darauf.“

Leopold v. Buch, über den Hagel (*Abhandlungen der Berl. Akad.* $18\frac{14}{15}$. *phys. Cl.*) p. 85.

„Bei schönem warmem Sonnenschein stand das Thermometer bei Kengis am Torneåstrome

um Mittag auf beinahe + 10 ° R. Die Luft war ganz still, und es standen nur wenige leichte weisse Wolken am Himmel. Plötzlich tritt eine grosse schwarze Wolke hervor, und die Hagelkörner fallen dicht, erbsengross und birnförmig, wie bei Alten herab. Das währte aber kaum eine Viertelstunde, und bald darauf schien die Sonne wieder hell. Das Thermometer stand auf 8°."

Leopold v. Buch, *Reise durch Norwegen und Lappland.* Bd. II. S. 126.

Man vergleiche noch v. Froriep's *Notizen.* Bd. VI. S. 201.

Auch pflegt der Hagel, wo nicht immer, doch sehr häufig von einem sogenannten *vent par rafales* begleitet zu sein, welcher Luftschichten von sehr verschiedener Temperatur schnell nach einander herbeiführt. Auffallende Beispiele solcher Winde sind folgende:

„Les vigies crièrent du haut des mâts, qu'ils sentaient des vapeurs brûlantes, semblables à celles de la bouche du four, qui passaient comme des bouffées et se succédaient d'une demi-minute à l'autre. Tous les officiers montaient au haut des mâts et éprouvèrent la même chaleur. La température était alors de 14 degrés sur le pont: nous envoyâmes sur les barres des perroquets un thermomètre, et il monta à 20 °. Cependant les bouffées de chaleur passaient très-rapidement, et dans les

intervalles, la température de l'air ne différait pas de celle du niveau de la mer."

La Pérouse *Voyage autour du monde* rédigé par Milet-Mureau. éd. 8vo. Vol. III. p. 30.

„L'ouragan," sagt King, „fut annoncé par le baromètre: car le mercure descendit, dès que le vent commença à souffler: ce vent d'abord très-favorable fut remarquable d'une autre manière, et amena un degré de chaleur presque insupportable. Le thermomètre monta dans un instant d'environ 70 à près de 90 ° Fahr. La chaleur se trouva d'une si courte durée, que nous l'attribuâmes à des vapeurs brûlantes, que la brise chassa devant elle."

Cook *Troisième voyage à l'océan pacifique.* Paris 1785. 4to. Vol. I. p. 151.

Andere Beispiele erzählen Vancouver, Péron, Freycinet, Flinders. Péron [86]) erwähnt eines in mehreren Beziehungen merkwürdigen Hagelfalles, dessen hier ausführlicher gedacht werden soll. „In den letzten Tagen unseres Aufenthaltes zu Sidney-town," erzählt Péron, „waren wir Zeugen von so heftigen und so oft zurückkehrenden und sich wiederholenden Gewittern, dass unser Erstaunen über das merkwürdige Klima von Neu-Süd-Wales den höchsten Grad erreichte. Niemals hatten wir so schreck-

86) *Voyage de découvertes.* Tom. I. p. 418.

liche Donnerschläge gehört, niemals so lebhafte, reissend schnelle Blitze die Atmosphäre durchzucken sehen.“ Diese Phänomene fanden bei N.W.-Winden Statt, welche sich in der Grafschaft Cumberland mit dem doppelten Charakter von äusserster Trockenheit und Hitze, trotz der Ausdehnung und Höhe der Gebirgsmassen zeigen, über welche sie hinwegstreichen müssen, um zu diesem Ziele zu gelangen. Dies Resultat ergiebt sich aus den Beobachtungen von Collins[87]), Philipp, Hunter, Watts, Tonch, King, Péron[88]). „Der 7. October,“ fährt Letzterer fort, „bot uns in dieser Beziehung eine Erscheinung dar, von der vielleicht kein zweites Beispiel in den Annalen der Meteorologie existirt. Den ganzen Morgen dieses Tages war das Wetter sehr schön, der Himmel und das Meer ganz ruhig gewesen. Nachmittags ging der Wind auf einmal nach NW. über *(en soufflant par rafales);* eine ungeheure Masse schwarzer Wolken, durch diese Windstösse vom Gipfel der blauen Berge zurückgeworfen, stürzte in die Ebene hinab. Diese Wolken waren so schwer, dass sie gleichsam die Oberfläche der Erde bestrichen. Die Hitze war erstickend, das Réaumur'sche Thermometer stieg plötzlich von 18 ° auf 27 °. Bald öffneten sich die Wolken mit einem ungeheuren

87) *Account of New-South-Wales.* p. 154. 189. 257. 286 u. a. a. O.

88) A. a. O. I. p. 396.

Digitized by Google

Lärmen, die Blitze blendeten unser Gesicht, und überall sah man die Strahlen in Schlangenlinien von blauer Farbe herabstürzen. In diesem Augenblicke des Sturms wehte der Wind aus allen Punkten des Compasses[89]), und seine Heftigkeit nahm in dem Maasse zu, als die Unordnung und der Wechsel in der Richtung bedeutender wurde. Jedesmal, wenn ein Strom grosstropfigen Regens herabgefallen war, hofften wir das Ende des Gewitters, aber plötzlich kam aus dem Schoosse einer höher belegenen Wolke, die bei weitem schwärzer war als alle übrigen, ein reichlicher Hagel herab, merkwürdiger durch die Form seiner Körner als durch ihre Grösse. Einige der bedeutendsten wogen 3 Dekagrammen (1 Unze), und jedes von ihnen hatte, statt der mehr oder weniger kugligen Form, wie sie in unseren Klimaten gewöhnlich ist, eine längliche Figur von unregelmässig prismatischer Form.“ Auch Collins[90]) erzählt von einem Hagel, der in Form breiter Eisstücke herabstürzte. Dass diese Winde, für die es in der deutschen Schiffersprache gewiss einen Ausdruck giebt, der mir aber auch jetzt noch nicht bekannt geworden ist, und welche die Franzosen *vents par bouffées*, *vents*

89) Dies ist häufig bei starken Stürmen der Fall. Vergl. v. Krusenstern *Reise*, I. 254. v. Langsdorff *Bemerkungen auf einer Reise um die Welt.* Bd. I. S. 188. Gilbert's *Annalen*, Bd. XXXI. S. 432. Bd. XXIX. S. 179.

90) *Account of New-South-Wales.* p. 445.

Digitized by Google

par rafales nennen, zwischen den Tropen nicht wehen, ist, da sie den Hagel begünstigen müssen, wie man weiter unten sehen wird, gewiss mit eine Ursache der Seltenheit des Hagels in den Aequatorialgegenden. Alex. v. Humboldt [91]) sagt: „Unter dem Palmenklima führt ein schwacher Ostwind immerdar gleicherwärmte Luftschichten herbei. Das Barometer zeigt, wie der Gang der Magnetnadel, die Stunden des Tages an. Erderschütterungen, Stürme und Donnerwetter stören die kleine, aber periodische Ebbe und Fluth des Luftmeeres nicht. Die veränderte Abweichung der Sonne, die dadurch in ihrer Stärke modificirten oberen Luftströme vom Aequator gegen die Pole bestimmen den Anfang der Regenzeit und die elektrischen Explosionen, welche beide zu regelmässigen Epochen eintreten. Nach der Richtung des Wolkenzuges kann der Reisende sich fast wie nach der Magnetnadel orientiren, und in der trocknen Jahreszeit würde in vielen Gegenden der Tropenwelt die Erscheinung eines Gewölkes am dunkelblauen Himmel die Bewohner eben so in Erstaunen setzen, als uns der Fall eines Aërolithen oder des rothen Polarschnees, als den Peruaner das Krachen des Donners, oder als alle Bewohner tropischer Ebenen ein Hagelwetter.“

Der Hagel ist offenbar ein lokales Phänomen, wie schon du Carla und Leop. v. Buch be-

91) *Abhandl. der Berl. Akad.* 1827. *phys. Cl.* p. 309.

Digitized by Google

merkt haben. Beleg dafür sei Middelburgh. Im Jahre 1783 fiel daselbst 24 Mal Hagel, wovon 14 Mal in den drei ersten Monaten des Jahrs, 7 Mal im November, 4 Mal in den übrigen acht Monaten. Im Jahre 1784 22 Mal, wovon in den vier ersten Monaten 13 Mal, im November und December 7 Mal. In den fünf letzten Monaten des Jahres 1782 fiel daselbst 15 Mal Hagel. Man sieht auch noch aus diesem Beispiele, welches ich gerade aus dieser Ursache gewählt habe, dass $\frac{9}{10}$ der zu Middelburgh beobachteten Hagelfälle auf die Wintermonate kommen. Besonders aber geht der Satz, dass der Hagel ein durchaus lokales Phänomen sei, aus einem von Patrik Neill genauer beschriebenen[92]) Beispiele hervor. Am 24. September 1819 zog ein Hagelwetter vom Meere aus über die Insel Stronsa und die N.W.Spitze der Insel Sanda (zwei der Orkneyinseln) hinweg, indem es einen Raum von ungefähr 20 englischen Meilen Länge und einen Strich von durchaus gleicher Breite (etwa von einer englischen Meile) einnahm. Die ausser diesem Striche (einem fast regelmässigen Parallelogramme) belegenen Punkte spürten von der ganzen Erscheinung nichts[93]). In Würtemberg werden die an Wäldern reicheren Gegenden vom Hagel verschont, während er in vielen wärmeren, mit Getreide, Wein und Obstpflanzungen

92) *Edinburgh Transactions.* IX. p. 187—199.

93) Vgl. Volney *Tableau du sol et du climat de l'Amér. sept.* p. 273.

Digitized by Google

versehenen Gegenden viele Verheerungen anrichtet [94]), was, wie wir weiter unten sehen werden, aus Leopold v. Buch's Theorie genügend sich erklären lässt.

Was die Höhe der Hagelwolken anbetrifft, so ist diese gemeiniglich sehr niedrig, wie dies Arago aus dem Zeitintervalle erwiesen hat, welches zwischen Blitz und Donner bei ihrer Entladung verfliesst. Indessen ist dies nicht immer der Fall. Bei der oben angeführten Beobachtung Péron's war die Hagelwolke höher als alle übrigen. Saussure [95]) beobachtete auf der Höhe des Grimsel in 6708 Fuss Höhe ein Hagelwetter, welches weder von Blitz, noch von Donner begleitet war. Alex. v. Humboldt [96]) beobachtete ein ungeheures Hagelwetter auf dem Vulcano da Puracé in 13564′ Höhe (Thermometer in freier Luft 5° C., am Barometer 7°. Barom. 200,‴3. Beobachtungszeit 23ᵘ), während zwischen den Tropen die untere Wolkengränze in der Nähe des Meeres (bei Xalapa in 19° n.Br.) 4002′ beträgt [97]). So fiel auf dem Paramo de Guancas in Südamerika Hagel [98]). Ich sehe keinen Grund davon ein, weshalb man die Hagel-

---

94) Schweigger's *Journal.* XLIV. p. 229.

95) *Voyages dans les Alpes.* Tom. VI. p. 276.

96) *Recueil d'observations astronomiques.* Vol. I. p. 304.

97) Alex. v. Humboldt *Essai politique sur le royaume de la Nouvelle Espagne.* éd. en 4to. Tom. I. p. 40.

98) In 14280′ Höhe. Schweigger's *Journ.* XLIV. p. 106.

Digitized by Google

wolken von dem Cumulus trennen sollte. Ueber die wahre Höhe der Wolken, wenigstens über die Erhebung der unteren Gränze der einzelnen Wolkengattungen über das Meeresniveau in verschiedenen Klimaten fehlt es noch durchaus an Beobachtungen. Gay-Lussac und Biot fanden sie bei ihrer aërostatischen Fahrt mitten im Sommer über Paris etwa in 3600 Fuss Höhe. Dies stimmt ziemlich mit Humboldt's Beobachtung überein. Crosthwaite in Keswick im nördlichsten Theile von England beobachtete unter 5381 Wolken nur 2100, welche eine Höhe über 3150 Fuss hatten [99]). Vergleichen wir diese drei Angaben mit einander, so lässt sich im Allgemeinen der Satz daraus ableiten, der wohl der einfachste ist, welcher sich in dieser Beziehung aufstellen lassen kann, dass die untere Gränze des Cumulus [100]) desto höher liegt, je weiter man sich dem Aequator nähert, und der Elasticität und Intensität des aufsteigenden Luftstroms proportional ist. Dies möchte zugleich eine Erklärung über die Suspension der Wolken geben, welche zu so mannigfachen Erklärungen Anlass gegeben hat [1]). Die grösste obere Höhe der

---

99) Dalton *Meteorological essays and observations.* p. 39.

100) Wie diess zu verstehen sei, darüber vergleiche man Alex. v. Humboldt *Voyage aux rég. équin.* VIII. p. 320.

1) S. Gay-Lussac und Fresnel in den *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. XXI. p. 59 folg. 260 folg.

Digitized by Google

Wolken setzte le Monnier [2]) nach seinen Beobachtungen am Berge Canigou auf 5766 Fuss, was wohl zu niedrig ist.

Hagel ist ein gewöhnlicher Begleiter der Wasserhosen [3]):

„Pendant la durée des trombes, nous avions de tems à l'autre de petites bouffées de vents de tous les points du compas et quelques légères ondées de pluie, qui tombaient en larges gouttes. A mesure que les nuages s'approchaient de nous, la mer était plus couverte de petites vagues brisées, accompagnées quelquefois de la grêle."

Cook *Second voyage à l'hémisphère austral*, Paris 1778. 4to. T. I. p. 218.

Man vergleiche noch Forster *Observations* p. 100. Auch Michaud [4]) beobachtete zu Nizza Hagel bei einer Wasserhose. Bei seiner Beobachtung fand der merkwürdige Umstand Statt, dass, obgleich die Körner von der Grösse einer Flintenkugel waren und in wenigen Minuten 4″ hoch fielen, sie doch den Bäumen nicht den geringsten Schaden thaten. Sie bestanden nämlich im Grunde aus nichts Anderem als aus grossen Schneeflocken, welche vom Winde während des

---

2) Musschenbroek *Institut. Phys.* p. 649.

3) Vgl. Buffon *Allgemeine Naturgeschichte.* Berlin 1771. Bd. II. p. 345. *Annales de Chim. et de Phys.* XXI. p. 407. XXIV. p. 438. Voigt *Magazin f. Naturkunde.* III. p. 240.

4) Gilb. *Annal.* VII. S. 54.

Digitized by Google

Falles zusammengeballt waren und weder das Gewicht noch die Härte des Hagels besassen. Michaud öffnete einige Körner und fand, dass sie aus einer dünnen, aber dichten Schale bestanden, in der beinahe nichts als einige Strahlen zu sehen waren, die von dem Mittelpunkte nach dem Umfange gingen. Sie waren in so geringem Grade gefroren, dass sie schmolzen, sobald sie den Boden berührten, und auch das Schmelzen eines vorher gefallenen Schnees, welcher einen sehr geringen Temperaturgrad besessen haben musste, beförderten. War dies Schnee, kann man wohl mit Recht fragen, oder Hagel? Der Schnee ballt sich nämlich in der Atmosphäre selbst zu bedeutenderen Massen von vielen Zollen (bis zu 15″) Durchmesser zusammen [5]). Einige andere Beispiele von Hagel bei Wasserhosen, ausser den schon angeführten, hat Nöggerath zusammengestellt [6]).

III.

Nach diesen durch die Erfahrung festgestellten und, wie ich glaube, hinlänglich begründeten Thatsachen gehe ich zu den einzelnen Versuchen über, welche bisher angestellt

---

5) Silliman *American. Journ.* VI. p. 169. *Edinburgh philos. Journ.* IX. p. 397.

6) Schweigger's *Journal.* LVI. p. 383.

Digitized by Google

worden sind, das Entstehen des Hagels zu erklären.

Die Ansichten der alten Griechen und Römer über das Entstehen des Hagels sind zum Theil von dem grössten Interesse. Der erste, von dem uns eine bestimmte Meinung über diesen Gegenstand aufbehalten worden, ist Anaxagoras[7]). Er behauptete, dass der Hagel zur Sommerzeit entstehe, wenn die Wärme, welche aus den oberen Regionen des Himmels zur Erde hinabstiege, die Erde und die aus ihr entwickelten Dünste und Dämpfe erwärme, so dass dieselben emporgehoben würden, worauf sie, nachdem der Zufluss der oberen Wärme aufgehört habe, durch die entstandene Kälte verdichtet würden und zur Erde herabfielen[8]). Dieser Ansicht widerspricht Aristoteles. Ihm

---

7) S. Aristotel. *Meteorolog.* I, 12.

8) Olympiodor zur angeführten Stelle des Aristoteles fol. 20, b. *ὁ τοίνυν Ἀναξαγόρας ἔλεγεν ἐν ταῖς ἀλεειναῖς χώραις τὴν χάλαζαν. γίγνεσθαι, ἐπειδὴ χρεία ἐστὶ πολλῆς τῆς θερμασίας τῆς ἀναρπαζούσης καὶ εἰς ὑψηλότερον τόπον φερούσης τὴν ἀτμίδα, ἵνα ἐν τῷ ἀπογείῳ γενομένη αὐτὴ ψυχρῷ ὄντι, οὕτω χάλαζα γένηται.* Die Worte der beiden andern Ausleger der Aristotelischen Meteorologik, des Alexander (nicht des bekannten Philosophen aus Aphrodisias, s. Patricius *Discuss. Peripatet.* p. 32. Schneider's Vorrede zu Aristot. Thiergeschichte Th. I. S. CVI. Anm., sondern des Alexander Aegeus, des Schülers des Sosigenes und Lehrers des Nero, welchen Simplicius, Suidas v. *Ἀλέξανδρος* und Eudocia S. 56 anführen) und des Johannes Grammaticus, hat Schaubach in seiner Fragmentensammlung des Anaxagoras S. 173. zusammengestellt.

Digitized by Google

zufolge entsteht der Hagel nicht sowohl, wenn eine Wolke in eine kalte Luftschicht hineinversetzt wird, als wenn sie in eine warme kommt, eine Theorie, in welcher wir, wie auch Erman [9]) richtig bemerkt hat, Anklänge an Leopold v. Buch's Theorie finden. Die Kälteerzeugung geschieht nach ihm durch einen polarischen Gegensatz der Wärme und Kälte [10]), woraus er viele Erscheinungen zu erklären versucht, und der gewissermaassen der Grundstein seines sinnreichen Gebäudes der Meteorologie ist. Die einzelnen Erscheinungen waren ihm wohl bekannt und richtig von ihm aufgefasst worden, dass es auf hohen Bergen nicht hagle, dass der Hagel vorzugsweise im Sommer falle, nur äusserst selten im Winter, dass die Körner bei der grössten Hitze das grösste Volumen haben, dass sie nicht rund seien, wie die Regentropfen, dass der Hagel bei Nordwinden in Griechenland herabfalle, welche, weil sie die trockensten sind, die stärkste Verdunstung der Regentropfen zulassen [11]), nachher aber gemeiniglich Südwind einzutreten pflege [12]) u. s. w. Darin aber irrte er, dass er den Hagel für Eis hielt. Eine bessere Ansicht in dieser Beziehung scheint vor ihm Anaximenes gehabt zu haben, wenn sich aus der überaus dunklen Notiz,

9) *Abhandl. der Berl. Akad.* 1825. *phys. Cl.* S. 128 folg.

10) Ueber diesen polarischen Gegensatz habe ich *Meteorol. vet. Gr. et Roman.* Introd. p. 9 folg. ausführlich gehandelt.

11) S. die eben angeführte Schrift S. 112 folg.

12) Ar. *Problem.* XXVI, 3.

Digitized by Google

welche sich beim Plutarch vorfindet [13]), in der That ergiebt, dass er die Hagelkörner für ein Concrement flüssigen und festen Wassers gehalten habe. Der so glücklich aufgefundene Weg zur richtigen Ansicht von der Natur des Hagels wurde von den Spätern gänzlich verlassen. Epicur gab nur Demonstrationen *ad hominem* [14]), deren Anführung überflüssig ist [15]), und nichts Besseres leisteten die Stoiker. Hieher gehört der Verfasser des Buchs von der Welt, welches fälschlich dem Aristoteles zugeschrieben wurde, welcher behauptet, der Hagel sei nichts anderes als zusammengeballter Schnee, welcher wegen des grösseren Gewichtes eine bedeutendere Schnelligkeit erlangt habe; hieher Posidonius, welcher sonst die Meinungen des Aristoteles beizubehalten pflegte [16]), in diesem Punkte aber gänzlich von ihm abwich [17]); hieher Sene-

13) *Placit. philos.* III, 4. Tom. IV. S. 601 der Ausgabe von Wyttenbach. Die Worte lauten: *Ἀναξιμένης νέφη μὲν γίγνεσθαι παχυνθέντος τοῦ ἀέρος, μᾶλλον δὲ ἐπισυναχθέντος ἐκθλίβεσθαι τοὺς ὄμβρους· χιόνα δ' ἐπειδὰν τὸ καταφερόμενον ὕδωρ παγῇ, χάλαζαν δ', ὅταν συμπεριληφθῇ τῷ ὑγρῷ πνεύματι.*

14) *Epp.* II, 26. S. 38. der Ausgabe von Schneider. Hieher gehört auch der bei weitem geistreichere Lucretius.

15) Cicero *Tusc. Quaest.* V, 26. sagt mit Recht: Epicurus — *qui tantummodo induit personam philosophi, et sibi ipse hoc nomen inscripsit.* Vergl. besonders den Cleomedes *Met.* II, 1. p. 110. der Ausgabe von Bake.

16) Strabo II. p. 162. C.

17) S. die Fragmente bei Bake *Posidonii doctrinae rell.*

Digitized by Google

ca [18]). Was Plinius [19]) und gar der späte Isidor [20]) bemerken, ist von gar keinem Interesse. Allmälig gewann der Aberglauben, der schon in früheren Zeiten sein Recht behauptet hatte [21]), immer mehr und mehr Oberhand, so dass im neunten Jahrhundert Agobald, Bischof von Lyon (779—840), ausdrücklich widerlegen musste, dass der Hagel und Donner kein Werk der menschlichen Macht oder teuflischer Zauberkräfte, sondern der Natur, oder, wie jene Zeit es ausdrückte, eine Strafe und Warnung des rächenden und die Menschen heimsuchenden Gottes seien [22]). Als man späterhin anfing, die Meteorologie wissenschaftlich zu bearbeiten, hatten die ersten Untersuchungen über den Hagel zum Zweck, in den höheren Regionen der Atmosphäre eine

---

p. 84. folg. Wenn Ruhkopf ad Senec. *Quaest. nat.* IV, 3. p. 248. sagt, Posidonius habe auch hier die Theorie des Aristoteles sich zu eigen gemacht, so beweist er nur, dass er die Meteorologik des Aristoteles höchst flüchtig gelesen.

18) *Quaest. nat.* IV, 2 sqq.

19) *Histor. nat.* II, 61.

20) *Origg.* XIII, 10.

21) Vgl. was Pausanias II, 34 und die Geoponiker (I, 14. Tom. I. p. 61 der Ausgabe von Niclas) erzählen. Sie erinnern uns lebhaft an die Strohwische neuerer Zeit und an Leschevin's Methoden, den Hagel abzuwenden (*Magasin encyclopédique* Tom. II. p. 1 folg. Gilb. *Annal.* XXIV. S. 400 folg.).

22) Seine Schrift *de grandine et tonitru* findet man in den beiden Ausgaben seiner Werke *Opp. e biblioth. Pap.* Masson Par. 1605. 8. und *Opp. emend. et illustr.* St. Baluze Par. 1666. 8.

Digitized by Google

Schicht nachzuweisen, wo sich eine so geringe Temperatur befinde, dass, wenn ein Niederschlag durch Vermischung zweier Luftschichten von ungleicher Temperatur hervorgerufen wird, dieser nothwendiger Weise gefrieren muss. Aber diese Schicht hat eine zu bedeutende Höhe über dem Meeresniveau, als dass hier die Hagelbildung erfolgen könnte. Nimmt man nämlich die Wärmeabnahme für 1° R. nach den im Anhange mitzutheilenden Angaben im Durchschnitt zu 687 Fuss an, so erhält man eine Höhe der Hagelwolken, bei einer Temperatur von + 15° R., wo doch nicht selten Hagel fällt, von 10325 Fuss, die die Unstatthaftigkeit dieser Hypothese sogleich nachweist, ohne dass es weiterer Einwürfe bedürfte. Es ist zwar denkbar, dass kalte Winde, welche wegen der ausserordentlich geringen Wärmeleitung der Luft ihre niedrige Temperatur beibehalten hätten, von nördlichen Gegenden herwehten und auf diese Weise den Hagel hervorbrächten, aber theils erklärte auch diese Annahme keinen Hagel bei + 20° R., wo er doch ebenfalls vorkommt, theils kommt Hagel bei allen Winden, selbst Südwinden, vor. Ueberdies ziehen Hagelwolken gemeiniglich sehr niedrig, wie dies schon oben bemerkt worden ist.

Nach dieser Erklärung der Entstehung des Hagels kam man auf eine zweite, welche namentlich denjenigen Physikern angehört, welche alle Erscheinungen der Atmosphäre als Wirkungen der Elektricität darstellten. Sie glaubten,

Digitized by Google

dass die in den Wolken angehäufte Elektricität die Verdunstung der niedergeschlagenen Wassermassen befördere, Kälte hervorbringe und so das Gefrieren der Regentropfen bewerkstellige. Aber schon van Marum [23]) und später Erman [24]) und Muncke [25]) haben überzeugend gegen Cavallo [26]) und Hermbstädt [27]), denen sich noch Schübler [28]) zugesellen lässt, dargethan, dass Elektricität durchaus keine Wirkung auf die Quantität und die Geschwindigkeit der Verdunstung äussere, dass nicht-elektrisirtes Wasser, ebenso wie elektrisirtes, Dunst in gleicher Quantität und von gleicher Expansivkraft unter übrigens gleichen Umständen erzeugt. Ferner haben v. Saussure, de Luc u. a. m. gezeigt, und namentlich hat in dieser Beziehung Reimarus viel geleistet, dass Wolken keine

---

23) Gilb. *Annal.* Bd. I. S. 121.

24) Ebendas. Bd. XL. S. 419. *Abhandlungen der Berl. Akad.* 1814—1815. phys. Classe p. 151.

25) Gehler's *physikal. Wört.* N. A. III. p. 289.

26) *Versuche über Theorie und Anwendung der medicin. Elektric.* §. 65, 2. Uebers.

27) Gehlen's *Neues allgemein. Journ. der Chemie.* II. S. 339. Gilb. *Annal.* Bd. VII. S. 506.

28) Schübler behauptet, dass aus seinen hieher gehörigen Versuchen hervorgehe, dass Wasser durch überströmende Elektricität unter Beschleunigung seiner Verdunstung eine sehr bemerkbare Temperaturerniedrigung erleide. Gilb. *Annal.* XXXIX. S. 305. *Naturwissenschaftliche Abhandlungen einer Gesellschaft im Würtembergischen* I. p. 218.

Digitized by Google

Magazine von Elektricität sind, worauf ich weiter unten zurückkommen werde.

Ohne uns bei Ansichten aufzuhalten, wie die von Blaise Monêsier aufgestellte [29]), der den Hagel daraus herleitet, dass den gasförmigen Wasserdünsten Wärme durch Salze und Wirbel entzogen werde, wollen wir kurz Volney's Theorie berühren [30]). Ihm zufolge beraubt die elektrische Explosion eine grosse Quantität von Wasserdünsten, indem sie dieselbe in den tropfbar flüssigen Zustand zurückversetzt, plötzlich ihres gebundenen Wärmestoffs: die kältere Luft der oberen Regionen stürzt in den leeren Raum, comprimirt das Wasser, bringt es zum Gefrieren und schleudert die so entstandenen Hagelmassen herab. Als Beweis für diese Theorie sieht Volney den Umstand an, dass nie Hagel ohne Sturm herabfalle, und dass die Heftigkeit desselben der Grösse der Hagelkörner proportional sei. Aber der Raum, welchen die condensirten Wasserdünste zuvor eingenommen hatten, ist, nach Dalton's Theorie, kein leerer Raum für die atmosphärische Luft, sondern bloss für die in

---

29) *Dissertation sur la nature et la formation de la grêle, qui a remporté le prix.* à Bordeaux. 1752. 4to. Wir wollen bei dieser Gelegenheit zweier anderer hieher gehöriger Abhandlungen von Wrede und Weiss *Ueber die Anwendbarkeit und Nützlichkeit der Hagelableiter* in *Neue Schriften der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin.* Th. III. Berlin 1801. Erwähnung thun.

30) *Tableau* u. s. w. p. 204.

Digitized by Google

derselben befindlichen Wasserdünste. Wenn er überdies sagt, dass die elektrische Explosion eine grosse Quantität von Wasserdünsten ihres Wärmestoffs beraube, oder, was dasselbe ist, dass sie nicht die Wirkung, sondern die Ursache des Niederschlags sei, so ist dies, wie aus allem oben Gesagten hervorgeht, geradezu falsch. Ist es wirklich der Fall, dass die Grösse der Hagelkörner der Heftigkeit des Windes proportional sei, woran ich zweifle, so hat dies Phänomen eine ganz andere Ursache, nämlich die, dass die fortwährende Erneuerung der Luft bei heftigem Winde die Verdunstung und mithin das Anschwellen des Hagelkornes begünstigt.

Eine andere Theorie hat Volta aufgestellt[31]). Er glaubt nämlich, dass die Sonnenwärme eine Verdunstung der sogenannten *vapeurs vésiculaires*, oder wenigstens der Oberfläche des sie umgebenden Häutchens bedinge, und auf diese Weise den zur Bildung des Hagels erforderlichen Kältegrad hervorbringe. Die Vergrösserung der Hagelkörner entsteht nach ihm durch Oscillation derselben zwischen zwei elektrischen Wolkenschichten und hierdurch bedingtes längeres Verweilen in der oberen Luft, wodurch ein Anziehen der Dünste und allmäliges Anwachsen des

---

31) Brugnatelli *Giornale di Fisica, Chemia e di Storia naturale.* I. p. 32 sq. 129 sq. 179 sq. Vgl. Arago's Aufsatz im *Annuaire du bureau des longitudes.* 1828. p. 100 folg. und daraus unter andern in Poggendorff's *Annalen.* Bd. XIII. S. 344.

Digitized by Google

Kernes möglich gemacht wird. Diese Theorie, welche noch jetzt sehr viele Anhänger, namentlich in Frankreich, findet, bedarf einer etwas ausführlicheren Widerlegung. Es fallen nicht selten Hagelkörner von 3 bis 4″ Durchmesser, um grösserer Massen, deren hier und da Erwähnung geschieht [32]), nicht zu gedenken. Diese Massen sollen sich durch Verdunstung des Häutchens der blasenförmigen Dünste bilden, deren Dicke doch, nach Kratzenstein, nur 0″,000002 beträgt, während der Durchmesser des ganzen Bläschens, nach Saussure [33]), nur 0″,00036 und nach Fraunhofer's Theorie der Höfe grösserer Art

---

32) *Philosophic. Transact. abridged.* Vol. IV. p. 172. Gilb. *Annal.* XVI. p. 75. (si fabula vera est!). Lampadius *Atmosphärologie* §. 241. *Edinburgh Journal of Science.* Octobr. 1828. p. 354. *Annales de Chim. et de Phys.* XXXIX. p. 425 folg. v. Froriep's *Notizen* XXII. p. 154. Eine Anzahl ungeheurer Hagelfälle im Mittelalter sind angeführt von Neikter *Nov. Acta Upsaliensia.* Vol. VI. p. 281. Besonders grosskörnig ist der Hagel in überaus trockenen und warmen Gegenden, z. B. in Syrien und Aegypten, vgl. Volney *Voyages en Egypte et en Syrie.* Vol. I. p. 322, in Arabien, siehe Niebuhr *Reisebeschreibung.* I. p. 432; in Indien. Für letzteres Land verweise ich, in augenblicklicher Ermangelung der Autorität eines neueren Reisenden, an der es aber nicht fehlt, auf Diodor. Sicul. *Bibl.* I, 41. p. 51. ed. Wesseling. Was die Glaubwürdigkeit grösserer Hagelmassen anbetrifft, so vergleiche man noch darüber, was Volney sagt, im *Tableau du sol et du climat des états unis de l'Amérique septentrionale.* p. 203.

33) *Essais sur l'Hygrométrie.* §. 202. p. 288. ed. 8vo.

Digitized by Google

nur zwischen 0″,00194 und 0″,00052 [34]) Grösse besitzt. Gesetzt nun, es könnte sich durch den von Volta angegebenen Process ein noch so geringer fester Kern bilden, wie lange soll die Oscillation dauern, damit das Korn nur zu 1″ Durchmesser anschwelle? Ferner lässt sich nicht begreifen, wie Sonnenstrahlen oder eine andere Wärmequelle die Verdunstung einer Flüssigkeit determiniren können, ohne eine Erwärmung hervorzubringen, welche die durch Verdunstung hervorgebrachte Temperaturverminderung ersetzte. Bellani bedeckte zwei Thermometerkugeln mit nasser Leinwand und setzte sie der freien Luft aus, und zwar das eine im Schatten, das andere im Sonnenlichte. Hierauf bemerkte er zwar wohl an der das letztere Thermometer bedeckenden feuchten Leinwand eine stärkere Verdunstung als an der andern, aber der Stand der Quecksilbersäule zeigte an derselben eine höhere Temperatur an. Nach Volta's Meinung ist das Sonnenlicht zur Bildung des Hagels unumgänglich nothwendig; aber wie kann dann nach Sonnenuntergang, oder des Nachts, oder gar kurz vor Sonnenaufgang Hagel fallen? Hier müssten die Hagelkörner, besonders wenn der Hagel vor Sonenaufgang herabfällt, sich 10 bis 12 Stunden oscillirend in der Luft erhalten haben, wie bei der oben angeführten Beobachtung

34) Schumacher's *astronomische Abhandlungen*. Heft III. S. 62 folg.

Bellani's, bei der noch der bemerkenswerthe, durchaus gegen Volta's Theorie sprechende Umstand obwaltete, dass sich am Abend zuvor gar keine Spur von Wolken am Himmel gezeigt hatte. Was nun ferner die von Volta angenommene Oscillation betrifft, gegen die sich schon früher Prechtl [35]) erklärte, so beruht sie zuvörderst auf einer reinen Hypothese und ist von niemandem beobachtet worden, wie es doch wohl hätte geschehen müssen, da so mancher auf Bergen in Hagelwolken verweilt hat; ferner ist sie bloss auf Analogie des elektrischen Tanzes gegründet, wo zwei Körper zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Platten hin und her geworfen werden. Volta muss also zwei Wolkenschichten annehmen, zwischen denen sich die Hagelkörner oscillirend erhalten; aber diese können keine solche Oscillation hervorbringen, da Bellani nachgewiesen hat, dass, so wie die eine der beiden Platten durch eine Flüssigkeit ersetzt wird, die elektrische Oscillation aufhört. Ja es lässt sich zeigen, dass Volta's Theorie auf einer durchaus falschen Ansicht von der Luftelektricität beruhe. Wolken sind Niederschlag der in der Atmosphäre zuvor vorhandenen Wasserdünste, und eben erst durch diesen Niederschlag und das dadurch bedingte Freiwerden von vorher, wenn ich mich so ausdrücken darf, latenter Elektricität werden sie elektrisch und

35) Gehlen's *Journal*. Bd. VII. S. 223.

Digitized by Google

erregen auf der ihnen gegenüberliegenden Erdoberfläche die entgegengesetzte elektrische Spannung. Es muss also bald ein Durchbruch durch die Luft erfolgen, der, sobald er geschehen ist, die beiden zuvor elektrischen Flächen in vollkommenen Neutralisationszustand versetzt, der erst dann wieder aufhört, wenn die Wolke neue Elektricität durch neuen Niederschlag erhält. In diesen Intervallen müsste nun der Hagel nothwendiger Weise herabfallen. Dies geschieht aber nach Volta's Theorie nicht; denn wenn ein Hagel vor Sonnenaufgang fällt, so muss er schon, nach Volta, am Tage vorher, als noch die Sonne über dem Horizonte stand, erzeugt worden sein, sich also die ganze Nacht hindurch in der Atmosphäre oscillirend erhalten haben, also die elektrische Ladung der Wolke permanent sein, ohne dass ein Durchbruch erfolgen musste. Alles dieses genügt wohl, die Ansicht Volta's zu verwerfen. Was gegen seine Theorie erinnert worden ist, gilt auch theilweise gegen die von Gay-Lussac aufgestellte [36]). Als er nämlich mit Biot zum ersten Male sich im Luftballon erhob, um physikalische Beobachtungen, namentlich über die Constitution unserer Atmosphäre anzustellen, beobachtete er, dass die Wolken an der oberen Seite eine fast vollkom-

---

36) Bei Alex. v. Humboldt *Voyage aux rég. équinox.* VI. p. 352.

Digitized by Google

mene Fläche bildeten [37]), die einer beschneiten Ebene glich, wie dies an der untern Seite beim Cumulus sehr häufig der Fall ist [38]). Diese Oberfläche soll nun durch Wärmestrahlung den zur Hagelbildung erforderlichen Kältegrad hervorbringen, gleich wie in Bengalen durch dieses Mittel bei Temperaturen, die den Gefrierpunkt häufig um 8° R. übersteigen, Eis gebildet wird [39]). Es müsste aber in diesem Falle Hagel unter den Tropen am häufigsten vorkommen, was doch keinesweges der Fall ist. Denn theils ist zwischen den Tropen die Wärmestrahlung am stärksten, wie man aus den durch sie hervorgebrachten Wirkungen sieht [40]), theils ist die Gränze der einzelnen Luftströmungen am bestimmtesten zwischen den Wendekreisen geschieden, so dass horizontale Wolkenflächen sich hier am ersten bilden können.

---

37) Gilb. *Annal.* XX. S. 8. Ein anderes auffallendes Beispiel einer horizontalen Wolkenoberfläche ist erzählt in *New Edinb. philos. Journal* Vol. I. Apr. — Octobr. 1826. p. 184.

38) Brandes *Beiträge zur Witterungskunde.* S. 319.

39) Williams in *Philosoph. Transact.* 1793. p. 56. 129. Wells *über den Thau*, übers. von Horner. S. 84 — 95. Gilb. *Annal.* III. S. 232.

40) Vgl. Alex. v. Humboldt *Voyage aux rég. équinox.* Tom. VII. p. 32. und am vorher a. O. Rumford in *Philosophical Transact.* 1804. p. 182. Der Wärmestrahlung allein ist sicherlich der Tod des Dr. Oudney zuzuschreiben, welcher in der libyschen Wüste bei Murzuk in Fessan vor Kälte gestorben ist. S. Alex. v. Humboldt in *Abhandl. der Berl. Akad.* phys. Cl. 1827. p. 301.

Digitized by Google

Leopold von Buch's Theorie [41]) gründet sich auf das Princip des aufsteigenden Luftstroms. An Tagen, wo der Boden und die unteren Luftschichten bedeutend viel Wärme absorbiren, werden letztere, theils unmittelbar durch diese Wärmeverschluckung, welche eine Folge von Lichtexstinction [42]) ist, theils durch die Wärmestrahlung des Erdbodens, theils durch Mittheilung erwärmt und bilden auf diese Weise einen aufsteigenden Luftstrom, welcher die mehr oder minder mit Feuchtigkeit gesättigte Luft bis zu einer beträchtlichen Höhe führt, in welcher sie sich mit der umgebenden Luft in Gleichgewicht zu setzen vermag. Hier nun wird, und vielleicht schon früher in den niederen Regionen, eine Quantität des in Dunstgestalt vorhandenen Wassers niedergeschlagen, welche in Tropfen herabstürzt, die, indem sie durch wärmere Luftschichten hindurchfallen, verdunsten, gefrieren, neuen Dunst anziehen und condensiren, wieder gefrieren und so das Hagelkorn, einen halb aus Eis, halb aus Schnee bestehenden kleinen Gletscher, bilden.

IV.

Bei Prüfung dieser Theorie, der sich manche Schwierigkeiten entgegenstellen lassen, die aber

---

41) *Abhandl. der Berl. Akad.* $18\frac{14}{15}$. phys. Cl. p. 73. folg.
42) Vielleicht spräche man besser von Lichtreflexion.

Digitized by Google

alle, wie wir weiter unten sehen werden, genügend gehoben werden können, ist wohl die erste Frage die, bei welchen Temperaturgraden kann durch Verdunstung eine Kälte hervorgebracht werden, welche die Gefrierung des Wassers bewerkstelligt. Antwort auf dieselbe geben Gay-Lussac's Versuche über die Verdunstungskälte [43]).

Wenn eine Wasseroberfläche in einem mit absolut trockenem Gase gefüllten Raume verdunstet, so wird dieser Process offenbar aus zwei Ursachen verzögert, nämlich durch den Druck des Gases auf die Flüssigkeit und durch den Umstand, dass die Verdunstung nur so lange fortgehen kann, bis sich die Temperatur der umgebenden Luft mit der des entstehenden Dunstes und der Oberfläche der verdunstenden Flüssigkeit ins Gleichgewicht gesetzt hat. Was die erste Ursache anbetrifft, so würde, wenn das Gas sich in vollkommenem Ruhezustande befände, gar keine Verdunstung Statt finden, und die Dichtigkeit desselben bei gleichem Drucke der des Dunstes gleich sein. Setzt man die Temperatur constant, so würde sie ungefähr der Geschwindigkeit des Gases proportional zunehmen, bis dass sie derjenigen gleich wird, welche der Dunst im luftleeren Raume annimmt. Ist nun die Verdunstungskälte sehr gering, so kann die Erwärmung, welche von den umgebenden Körpern ausgeht, schneller bewirkt werden, als die Verdunstungskälte einzutreten im

43) *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. XXI. p. 85. folg.

Digitized by Google

Stande ist. Indessen ist es nothwendig, dass die Erneuerung des Gases auf der verdunstenden Oberfläche sehr schnell geschehe; diejenige, welche durch den Unterschied der Dichtigkeiten des warmen und des durch die Verdunstung abgekühlten Gases entsteht, reicht hin, wenn die Abkühlung wenig beträchtlich ist. Die Flüssigkeit verdunstet ferner bloss durch Hülfe des Gases, welches ihre Oberfläche berührt; sie kann sich mithin nicht in demselben Grade wie im luftleeren Raume abkühlen, und bei einer gegebenen anfänglichen Temperatur erreicht die Kälte ihr Maximum, wenn die durch den Dunst absorbirte Wärme derjenigen gleich wird, welche das Gas verliert, um sich mit ihm in Bezug auf Temperatur und Druck in Gleichgewicht zu setzen, + derjenigen, welche der verdunstenden Oberfläche durch die umgebenden Körper zugeführt wird. Da aber die Quantität der letzteren, wenn die Verdunstungskälte nur einige Grade beträgt, sehr gering ist in Vergleich mit jener, so kann sie in diesem Falle vernachlässigt werden. Leider kennt man nicht genau die Quantität der gebundenen Wärme für den Dunst der einzelnen Flüssigkeiten, das Gesetz, welches die Expansivkräfte bei verschiedenen Temperaturen und Dichtigkeiten befolgen, die Wärmecapacität der Luft; sonst würde es bei gegebener Temperatur, Dichtigkeit und gegebenem Drucke ein Leichtes sein, die Verdunstungskälte für jeden einzelnen Fall zu berechnen. Bezeichnen wir diese Temperatur mit t', nennen

Digitized by Google

wir ferner l die gebundene Wärme des Dunstes, ausgedrückt in Graden des Thermometers, um welche sie die Temperatur einer gleichen Gewichtsmasse der Flüssigkeit erhöhen würde; $\varphi(t')$ die Expansivkraft derselben bei der Temperatur t', δ das Verhältniss seiner Dichtigkeit zu der der Luft, c ihre Wärmecapacität in Bezug auf die der Flüssigkeit, letztere als Einheit angenommen, und p ihren Druck, so erhält man:

$$\varphi(t')\ \delta\ l = [p - \varphi(t')]\ (t - t')\ c.$$

Um diese Formel auf den speciellen Fall anzuwenden, wo Wasser die verdunstende Flüssigkeit ist, setzte Gay-Lussac nach seinen und Welter's Versuchen, $l = 550°$ [44]), $\delta = \frac{5}{8}$, $c = 0{,}2669$,

---

44) Gay-Lussac hat den Fehler begangen, dass er l für alle Temperaturen constant annahm. Bezeichnet aber v das Volumen bei 0°, v' bei einer anderen Temperatur t, die entsprechende Quantität latenter Wärme l', während l die bei 0° (nach August *Ueber die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit* p. 9. = 640°) bezeichnet, so ist, der Druck als constant angenommen:

$$l : l' :: v' : v :: v + \frac{t}{213} : v :: 213 + t : 213$$

das Volumen bei 0°, als Einheit angenommen, und

$$l : l' :: 213 - t : 213$$

für Temperaturen unter dem Gefrierpunkte. Hiernach ergiebt sich:

t	l'	t	l'	t	l'	t	l'	t	l'	t	l'
—10°	671°,5	— 3°	649°,5	4°	628°,2	11°	608°,5	18°	590°,1	25°	572°,7
9	668,2	2	646,0	5	625,2	12	605,8	19	587,5	26	570,3
8	664,9	1	643,0	6	622,4	13	603,1	20	585,0	27	568,0
7	661,7	∓ 0	640,0	7	619,6	14	600,5	21	582,5	28	565,6
6	658,5	+ 1	637,0	8	616,9	15	597,9	22	580,0	29	563,3
5	655 3	2	634,0	9	614,0	16	595,2	23	577,7	30	560,9
4	652,2	3	631,1	10	611,3	17	592,6	24	575,1		

Digitized by Google

und nach Laplace [45]):

$$\varphi(t') = 0^{m},7^{6}\,(10)^{t'.\ 0,0154547\ -\ t'^{2}.\ 0,0000625826}.$$

Rumford fand $l = 567°$, beobachtete also bei einer Temperatur von ungefähr 27°; Clement und Désormes fanden $l = 550°$, mithin bei einer Temperatur von 35°. Despretz's erste Versuchsreihe ergab 531° (Temp. 43°). Vgl. *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. XII. p. 419. XXIV. p. 327. Die zweite dagegen 540° (Temp. 39°). S. Despretz *Traité de Physique* p. 104 Paris 1827. Der Werth von c ist nach den Versuchen von Laroche und Bérard.

45) *Mécanique céleste.* Tom. IV. p. 273. Der Satz soll gelten von $t' = -\infty$ bis $t' = 60°$. Soldner (in Gilb. *Annal.* Bd. XVII. S. 79. XXV. S. 429) sprach den Satz für das Gesetz, welches die Expansivkräfte des Wasserdunstes befolgen, folgendermaassen aus: „Wenn irgend eine Flüssigkeit unter dem Drucke p der Atmosphäre kocht, so hat ihr Dunst bei dieser Temperatur eine Expansivkraft = p, und in trockener Luft eine Verdunstung V, welche durch Versuche gefunden werden muss. Wenn dann bei einer anderen Temperatur, die um u Grade über der vorigen ist (wenn darunter, wird u negativ), die Expansivkraft e und die Verdunstung ν heisst, so findet immer die Gleichung Statt:

$$\frac{e}{p} = \frac{\nu}{V} = (1{,}3802 - 0{,}00253\,u)^{0{,}1365\,u}$$

Dieser Satz gilt für das Réaumur'sche Thermometer. In Soldner's Zeichen ausgedrückt, lautet Laplace's Formel, die, beiläufig bemerkt, schon bei 130° eine Differenz zwischen dem Resultate und dem Dalton'schen durch Versuche gefundenen Werth von + 18° ergiebt, folgendermaassen:

$$\log\frac{e}{p} = u\,.\ 0{,}0193184 - u^{2}.\ 0{,}0000977853.$$

Yvory (Baumgartner's und v. Ettinghausen's *Zeitschr.* Bd. III. p. 480) hat aus Ure's Versuchen, welche mit den Dalton'schen sehr nahe übereinstimmen, nachstehende Formel hergeleitet:

$$\log\frac{e}{p} = 0{,}0087466\,t^{2} - 0{,}000015178\,t^{3} + 0{,}000000024825\,t^{u},$$

Digitized by Google

Gay-Lussac hat nun, um die Theorie mit der Erfahrung zu vergleichen, auf directem Wege die Temperaturerniedrigung zu bestimmen versucht, welche ein trockner Luftstrom auf ein Quecksilberthermometer hervorbringt, dessen Kugel mit nasser Leinwand bedeckt ist. Die Luft entwich bei bestimmtem Drucke aus einem Gasometer, ging durch eine mit Chlorcalcium angefüllte Röhre, dann durch eine andere, in welcher sich ein Thermometer befand, das ihre Temperatur angab, und gelangte so zu dem angefeuchteten Thermometer, welches sie von allen Seiten umgab; alsdann verbreitete sie sich frei in der Atmosphäre, ohne eine Veränderung des Druckes zu erleiden. Um das Thermometer schneller stationär zu machen, bediente sich Gay-Lussac des Mittels, dass er es ungefähr bis zu dem Punkte abkühlte, bis zu welchem es sinken musste, und trug es alsdann bis zu der Stelle des Apparates, welche es einnehmen sollte. So fand er denn folgende Resultate:

---

wo t die Entfernung der Temperatur vom Siedepunkte in Graden Fahrenheit's ausdrückt. Dies zur Vergleichung mit den von August gefundenen Resultaten (Poggendorff's *Annalen*. Bd. XIII. S. 131).

Digitized by Google

Temperatur der trocknen Luft bei einem Drucke von 0m,76	Verdunstungskälte		Unterschied zwischen Beobachtung und Rechnung	Berechnete Verdunstungskälte, wenn die Temp. der trocknen Luft unter 0° war, entsprechend der ersten Columne, wo die Temperaturen + waren.
	beobachtet.	berechnet.		
0°	5°,82	5°,85	0°,03	5°,85
1	6, 09	6, 25	0, 16	5, 61
2	6, 37	6, 55	0, 18	5, 37
3	6, 66	6, 85	0, 19	5, 13
4	6, 96	7, 15	0, 19	4, 89
5	7, 27	7, 45	0, 18	4, 65
6	7, 59	7, 80	0, 21	4, 43
7	7, 92	8, 15	0, 23	4, 21
8	8, 26	8, 45	0, 19	3, 99
9	8, 61	8, 75	0, 14	3, 77
10	8, 97	9, 15	0, 18	3, 55
11	9, 37	9, 65	0, 28	3, 37
12	9, 70	10, 05	0, 35	3, 19
13	10, 07	10, 45	0, 38	3, 01
14	10, 44	10, 75	0, 31	2, 93
15	10, 82	11, 15	0, 33	2, 65
16	11, 20	11, 65	0, 45	2, 51
17	11, 58	12, 05	0, 47	2, 37
18	11, 96	12, 45	0, 49	2, 23
19	12, 34	12, 95	0, 61	2, 09
20	12, 73	13, 35	0, 62	1, 95
21	13, 12	13, 85	0, 73	1, 85
22	13, 51	14, 25	0, 74	1, 75
23	13, 90	14, 65	0, 75	1, 65
24	14, 30	15, 25	0, 95	1, 55
25	14, 70	15, 75	1, 05	1, 45

Diese Resultate gelten für trockne Luft; nimmt man sie dagegen bei ihrem gewöhnlichen hygrometrischen Zustande, so kann die Verdunstungskälte nicht so bedeutend sein, und sie wird Null für den Fall, wo die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Digitized by Google

Hieraus sieht man denn unmittelbar, dass durch Verdunstung kein Hagel in der Wolkenregion selbst erzeugt werden könne, es sei denn, dass ein vent par rafales successiv wärmere Luftschichten durch kältere hindurchtriebe oder umgekehrt. Es vermischen sich nämlich zwei Luftmassen A und n A; ihre Temperaturen seien t und t', die Expansivkräfte der in ihnen enthaltenen Dunstquantitäten e, e', so erfolgt ein Niederschlag, nach Hutton's Theorie, wenn $\frac{1}{1+n}(e+ne')$ grösser als das Maximum der Expansivkraft des Dunstes für die Temperatur $\frac{1}{1+n}(t+nt')$ ist. Der zurückbleibende Dunst aber hat eine Expansivkraft gleich dem dieser Temperatur zukommenden Maximum. Alex. v. Humboldt [46]) nimmt an, dass sich der Hagel schon in der Wolke gebildet vorfinde, und führt als Hauptgrund dafür an, dass man oft das Zusammenschlagen der Hagelkörner in horizontal fortschreitenden Wolken höre. Die wirkliche Existenz dieses Geräusches, bevor der Hagel im Herabfallen begriffen ist, welches, wie Arago erzählt, besonders in der Lombardei wahrgenommen werden soll, ist noch immer nicht ausser allem Zweifel gesetzt, obgleich schon die Alten dasselbe erwähnen [47]). Sollte sich in-

46) *Voyage aux rég. équinox.* Tom. VI. p. 352.

47) Aristotel. *Meteorolog.* I, 12. p. 348. A. der Ausgabe

Digitized by Google

dessen diese Erfahrung bestätigen, was ich nicht glaube [48]), so bieten die vents par rafales eine genügende Erklärung dar.

---

von Bekker: πολλάκις ὦπται νέφη φερόμενα σὺν ψόφῳ παρ' αὐτὴν τὴν γῆν. In den letzten Worten liegt, dass das Geräusch während des Herabfallens wahrgenommen wird. Lucret. *de rer. natur.* VI, 156 sqq.

Denique saepe geli multus fragor atque ruina
Grandinis in magnis sonitum dat nubibus alte.
Ventus enim quom confercit, franguntur, in arctum
Concretei, montes nimborum et grandine mixtei.

48) Eine hieher gehörige Beobachtung von Morier (*Second journey trough Persia.* London 1818. 4to. p. 309 — 310) hat Kämtz in Schweigger's *Journ.* Bd. LVI. 393 mitgetheilt: „Die ganze Gegend um Nazik, südlich vom Araxes, hatte seit 40 Tagen keinen Regen gehabt, aber am Tage unserer Ankunft war hier ein starkes Gewitter; dabei regnete es die ganze Nacht hindurch so stark, dass unsere Zelte ganz durchgeweicht wurden, und wir uns genöthigt sahen, den folgenden Tag (5. November) noch in Nazik zu bleiben. Am Abende zeigte sich eine höchst merkwürdige Erscheinung. Der Himmel war mit Gewitterwolken überzogen, und wir erwarteten einen Regenschauer, als ein schreckliches Geräusch gehört wurde, ähnlich demjenigen, welches eine grosse, schnell fortrauschende Wassermasse macht. Jedermann im Lager eilte nach der Stelle, von welcher das Geräusch kam, in der Erwartung, dass ein schneller Strom durch das Bette eines in der Nähe des Lagers liegenden Baches fliessen würde. Hier angekommen, sahen wir kein Wasser. Aber immer grösser wurde das Geräusch, und da es sich uns näherte, so wurden wir unruhig. Ein jeder erwartete einen Orkan oder ein Erdbeben; endlich zeigten uns einige sehr grosse Hagelkörner, welche fast die Grösse von Taubeneiern hatten, dass die Quelle dieses Geräusches über uns war; als wir nun in die Höhe sahen, entdeckten wir zwei heftige Luftströme, welche die Wolken nach verschiedenen Seiten trieben, deren Zu-

Digitized by Google

Aus Gay-Lussac's Versuchen folgt, dass durch Verdunstung kein Hagel bei einer Temperatur über + 8° C erzeugt werden könne, die Luft als absolut trocken vorausgesetzt. Dies findet aber in der Atmosphäre wohl nie Statt, obgleich Muncke [49]) sagt, dass der Sättigungsgrad der Atmosphäre mit Wasserdunst vom Maximum der Dichtigkeit, wodurch alle Körper feucht werden, bis zur völligen Trockenheit gehe, wobei selbst zerstossenes Weinsteinsalz und salzsaurer Kalk, ihrer grossen Affinität zum Wasser ungeachtet, trocken werden. Da aber die Atmosphäre nur selten mit Wasserdunst gesättigt ist, so wird stets eine Verdunstung Statt finden können, die bei dem gewöhnlichen hygroskopischen Zustande der Atmosphäre und einer Temperatur von 4° — 5° C. bis zum Gefrieren der Regentropfen gehen kann. Man sieht hieraus, dass die Regentropfen recht wohl den von Leop. v. Buch angegebenen Process erleiden, und dass seine Theorie gewiss die richtige ist, sobald sie folgende Restriction erleidet: die Hagelbildung geht in den höheren, unmittelbar unter der Wolke belegenen Schichten beim Durchfallen der Tropfen durch dieselben vor sich,

---

sammentreffen das uns zuvor unerklärliche Geräusch hervorbrachte.“ Dies Alles beweist weiter nichts, als dass die Hagelkörner bei ihrem Falle durch die Luft gegen einander getrieben wurden.

49) Gehler's *physical. Wörterb.* Neue Ausgabe. Bd. I. S. 467.

Digitized by Google

nicht durch die ganze vertikale Luftsäule bis zur Erdoberfläche. Vorzüglich günstige Bedingungen für die Entstehung des Hagels sind: grosse Trokkenheit in diesen Schichten, kältere Luftströmungen, welche wärmere Luftsäulen in bedeutender Ausdehnung unterbrechen, ein vent par rafales u. s. w.

Ich hatte früher in einer misslungenen Arbeit über die Entstehung des Hagels als Einwurf gegen Leop. v. Buch's Theorie die Seltenheit des Hagels in den Aequatorialgegenden geltend gemacht. Allerdings sollte, wenn man jene so eben angegebene Modification in der Theorie nicht anbringt, wodurch unmittelbar nachgewiesen wird, weshalb der Hagel in den angeführten Regionen so selten sei, man glauben, dass die Differenz der Feuchtigkeitscapacitäten nirgends grösser sein könne, als unter dem Aequator und in jenen wärmeren Tropengegenden, und dass diese um so grösser sein müsste, wenn das Gesetz der Wärmeabnahme am Aequator ein anderes wäre, als in höheren Breiten, und namentlich, wenn die Abnahme schneller erfolgte, wie dies B. v. Lindenau [50]) aus theoretischen Gründen wahrscheinlich gemacht hatte. Seine Deduction a priori war zwar von Al. v. Humboldt [51]) angegriffen worden; aber, wie auch v. Lindenau

---

50) v. Zach *Monatliche Correspondenz.* Bd. XVII. S. 25.
51) *Recueil d' observations astronomiques.* Vol. I. p. 126.

Digitized by Google

schon bemerkt hatte, stimmt er selbst dafür, wenn er in der angeführten Abhandlung sagt: „Nous prouverons plus bas, que le décroissement du calorique dans l'air est fonction de la température moyenne des plaines. En considérant le décroissement moyen de toute l'année, on le trouve aussi plus rapide dans la région équinoxiale que dans la zône plus voisine du pôle.“ Dichtigkeiten und Temperaturen stehen im umgekehrten Verhältnisse: die Temperatur nimmt vom Aequator nach dem Pole zu ab, die Dichtigkeiten in den unteren Schichten zu, und mit diesem Wachsthume ist unmittelbar die Zunahme der Lichtexstinction verbunden. Wärmeabnahme ist zugleich Function der unmittelbar durch die Atmosphäre hindurchgehenden Lichtstrahlen sowohl, als der vom Erdboden reflectirten; beides ist stärker am Pole, letzteres wegen grösserer Ausdehnung der Ebenen. Da, wo sich in den Tropengegenden grosse Plateaus auf den Gebirgen oder ausgedehnte Ebenen in niederen Höhen finden, wo also die Wärmestrahlung des Bodens stärker ist, als in dichtbewachsenen Thälern oder auf kegelförmigen Bergspitzen, da ist auch, wie Al. v. Humboldt gezeigt hat, die Wärmeabnahme geringer, nämlich $258^{m},4$ im Mittel der Temperaturen von Quito, Popayan, St. Fé de Bogota, Mexico, für 1° C. Schon Villar [52]) bemerkte, worauf wir in dem An-

52) Saussure *Voyages dans les Alpes.* §. 936.

hange zurückkommen werden, dass Pflanzen der Ebene da am höchsten sich an den Gebirgen aufwärts erheben, wo die Masse derselben am grössten ist. Humboldt selbst hat den Satz angenommen, dass in einer gewissen Höhe unter allen Breitengraden eine gleiche Temperatur herrsche. Hierzu bestimmte ihn die Vergleichung der unter dem Aequator und von Gay-Lussac unter dem 45° N. Br. angestellten Beobachtungen [53]). Es fanden nämlich:

in einer Höhe von	Humboldt am Chimbarazo	Gay-Lussac über Paris.
2440'	+ 2°,5 R.	+ 5°,8
2850	+ 2, 3	+ 1, 6 (+ 2°,0)
3012	— 1, 3	— 2, 0 (— 1, 2)

Die bei Gay-Lussac's Beobachtungen in Parenthese eingeschlossenen Zahlen stimmen besser mit Alex. v. Humboldt's Angaben überein und sind von Gilbert durch Correction der Höhe von Paris über dem Meeresniveau (20 t) aus Gay-Lussac's Beobachtungstabelle hergeleitet worden. So sehr aber diese grössere Wärmeabnahme für eine bedeutendere Differenz der Dunstcapacitäten spricht, so ist doch ein Umstand zu berücksichtigen, der, wenn auch die Verdunstung der Regentropfen bis zur Erdoberfläche gehen könnte, die Seltenheit des Hagels in den Aequatorialgegenden bedingen müsste,

---

53) Gilb. *Annal.* Bd. XXIV. S. 37.

Digitized by Google

nämlich die geringe Differenz zwischen der wirklichen Expansivkraft des Dunstes und dem der Temperatur zukommenden Maximum, oder, was dasselbe ist, zwischen dem Thaupunkte und der wirklichen Temperatur. Dass dies der Fall sei, lehren Al. v. Humboldt's Hygrometerbeobachtungen, und zugleich eine Vergleichung der in unseren Breiten fallenden Regenmasse mit dem correspondirenden mittleren Hygrometerstande und der Quantität jährlichen Regens unter dem Aequator. In den gemässigten Klimaten nämlich fallen bei einem mittleren Hygrometerstande von 60° Sauss. jährlich im Mittel 20—30″ Regen, in Paris im Durchschnitte nur 19″—20″, in Leiden 28″,5 [54]), in Karlsruhe nach Böckmann [55]) 27″,4, in Rom nach Calandrelli [56]) 29″,3, in England nach Dalton 28″,7‴ [57]). Regengüsse, wie der von 13‴ in einer Stunde in Montpellier, von 13″,2‴ in 18 Stunden zu Viviers, von 17‴,9 in 30 Stunden zu Genf [58]), von 0″,9 in 37 Minuten zu Neapel, welcher meist aus halbgeschmolzenem

54) Gilb. *Annal.* Bd. IV. S. 326.

55) Ebendas. Bd. XLI. S. 85.

56) Ebendas. Bd. XXIV. S. 239.

57) Ebendas. Bd. XV. S. 252.

58) *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. VIII. pag. 399. *Ephemerid. Societ. met. Palat.* Vol. III. 1783. p. 429. *Journal de Phys.* Tom. LX. p. 391. Es kann nur ein Versehen sein, wenn Gilbert (*Annalen.* Bd. LXIV. S. 203.) sagt, dass in dem einzigen Monate November 1819 auf dem grossen St. Bernhard 144″ 3‴ Schnee und Regen gefallen seien.

Digitized by Google

Hagel bestand [59]), gehören bei uns zu den Ausnahmen, und eben so mittlere jährliche Regenmassen, wie die von Kendal [60]) 60″,5, von Bergen, nach Ahrentz [61]) 70″,48. Dagegen beträgt das hyetometrische Mittel in den Wäldern des Orenoco und Rio Negro nach Alex. v. Humboldt [62]) 90″—100″, in Bombay 72″—106″, in Domingo [63]) 113″, in St. Luis da Maranhão (Br. 2° 19′ S.) 23′4″ 9‴,7 engl. = 260″ fr. In Cayenne fielen nach Capt. Roussin im Februar 151″ Regen [64]), in der Mission San Antonio de Javita am Orenoco, wo es bisweilen 5 Monate regnet, ohne aufzuhören, binnen 5 Stunden, nach Humboldt's Beobachtung [65]) 21‴, und ein anderes Mal in 3 Stunden 14‴, in Bombay während der 12 ersten Tage der Regenzeit 32″ engl. [66]). So fielen auf der Insel Grenada den 21. October in 21 Stunden 8″ engl., und die Flüsse stiegen *thirty feet* (30′) über die gewöhnliche Höhe. Vom 21. October bis 20. November

---

59) Froriep's *Notizen.* Bd. XIX. S. 87.

60) Gilb. *Annal.* Bd. XXV. S. 327. Humboldt *Voyage.* IX. p. 372.

61) *Nye Samling af Kiöbenhavn Videnskabs Selskabs Skrifter.* Bind. XI. Gilb. *Annal.* XXV. S. 326.

62) *Voyage aux rég. équinox.* Tom. VIII. p. 399.

63) Alex. v. Humboldt a. a. O. IX. p. 372.

64) *American Journal of Science.* IV. p. 375. *Edinburgh philos. Journ.* VIII. p. 185. Gilb. *Annal.* LXVIII. p. 213 — 215.

65) A. a. O. VII. p. 306.

66) *Edinburgh philos. Journ.* VII. p. 182.

Digitized by Google

fielen 17″ [67]). Indessen herrscht in einigen Thälern des mittleren Amerika eine Trockenheit, welche bedeutender ist, als die in Genf und Paris beobachtete, und die man am wenigsten in diesen Tropengegenden erwarten sollte. Sie ist so bedeutend, dass die Bäume ihrer Blätter beraubt werden. Alex. v. Humboldt [68]) giebt eine Reihe in dem Schatten der Thäler des Rio del Tuy und von Aragua angestellter hygrometrischer Beobachtungen. Das Mittel gab für den Monat Februar bei einer mittleren Temperatur von 24°,3 C. (das Minimum war 20°,0, das Maximum 28°,1) 35° — 36° de Luc oder 70°,8 — 72° Sauss. In den Monaten, wo in Genf und Paris die mittlere Temperatur 18° erreicht, ist der Stand des Saussure'schen Hygrometers noch über 82° [69]). Zwar sagt Hutton [70]) sehr richtig, dass die Quantität des herabfallenden Regens nicht allein von der mittleren Temperatur, also von dem Maasse der Ausdünstungen, sondern auch von den Umständen, welche die Mischung zweier nahe mit Feuchtigkeit gesättigter Luftschichten von verschiedener Temperatur begünstigen, d. h. von den Winden, abhänge

67) *Quarterly Journal of Science.* V. p. 136. Man vergl. Moreau de Jonnès in *Annales générales des sc. nat.* VI. p. 110—111. *Bulletin de la Société philomathique.* 1820. p. 156.

68) *Relation historique.* Vol. II. p. 45.

69) Vgl. *Relat. historiq.* Vol. II. p. 73.

70) Gren's *Journ.* Bd. IV. S. 445.

Digitized by Google

(dies sieht man namentlich bei den an der Westküste von Norwegen herrschenden Wintergewittern, bei denen Hagel sehr häufig ist [71]), und dass so die *isoombrischen* Linien nicht mit den isothermen zusammenfielen, aber doch ist die Differenz der Ausdünstung und der jährlichen Regenmasse sehr gering, wie man aus der Beobachtung des Dr. Dobson zu Liverpool, der die mittlere jährliche Verdunstung mittelst eines atmidometrischen Verfahrens auf 36″,78, und die mittlere jährliche Regenquantität auf 37″,48 engl. ebendaselbst bestimmte [72]), und den Datis in den mannheimer Ephemeriden sieht. Uebrigens kam es hier auch nur darauf an, aus der mittleren jährlichen Regenmasse den mittleren Feuchtigkeitszustand herzuleiten, was im Allgemeinen nicht in Abrede gestellt werden kann.

Warum sollte es nicht Nachts hageln? Viele Reisende, welche die Küsten von Neuholland und van Diemensland besuchten, haben in der Nacht daselbst Hagel beobachtet. Aber an den dürren Küsten findet am Tage eine starke Verdunstung bei einer Temperatur von 30° — 32° C. Statt, wodurch vermittelst des aufsteigenden Luftstroms eine ungeheure Quantität von Wasserdünsten, durch den unten vom Meere herwehenden Luftstrom, den Seewind, herbeigetrieben, zu den höheren Regionen der Atmo-

71) Gilb. *Annal.* XXIX. S. 179.
72) Ebendas. Bd. XV. S. 264.

Digitized by Google

sphäre emporgehoben wird. Tritt nun Abends der Landwind ein, so wird die Atmosphäre ganz trocken, während aus den oberen Schichten eine unendliche Wassermasse herabstürzt [73]). Hier kann nun und muss sogar Hagel erzeugt werden; denn trotz der ungeheuren, wegen der Wärmestrahlung noch weniger erträglichen Tageswärme tritt nun eine sehr niedrige, fast kalte Nachttemperatur ein. Dentrecasteaux [74]) beobachtete im Februar 1793 am Tage 22° und 23° R., des Morgens um 6 Uhr stand das Thermometer gemeiniglich auf 10°, oft nur auf 6° [75]). Aehnliche Bedingungen für den nächtlichen Hagel hat schon Leop. v. Buch in seiner Abhandlung aufgestellt.

So erklärt sich denn auch, weshalb trotz dieser Verdunstung die Quantität des Regens in zwei in verschiedenen Höhen aufgestellten Ombrometern verschieden, und zwar in dem unteren grösser ist, als in dem oberen. Denn die der Erdoberfläche näheren Schichten der Atmosphäre sind hinreichend mit Feuchtigkeit gesättigt, um dass noch ein Theil der vorhandenen Dünste, unter Mitwirkung der niedrigen Temperatur des Hagelkorns, condensirt werden kann.

---

73) Péron *Voyage aux terres australes.* Vol. II. p. 210. folg.

74) *Voyage*, rédigé par Rossel. Vol. I. p. 264.

75) La Billardière *Voyage à la recherche de la Pérouse.* Tom. II. p. 27. Freycinet *Voyage aux terres australes.* p. 50.

Digitized by Google

So fiel bei Péron's Beobachtung sehr grosstropfiger Regen, bei Cook's *pluie en larges gouttes* [76]). Hieher gehört die Bemerkung, welche nach anderen Biselx, der Prior des Klosters auf dem St. Bernhard, machte, dass der Regen auf hohen Bergen fast immer sehr kleintropfig sei, und dass der Schnee daselbst nur selten in bedeutenden Flocken herabfalle, und das nur im Sommer bei höherer Temperatur [77]). Auch beruht auf demselben Grunde die Erscheinung, dass der Regen im Winter grosstropfiger ist, als im Sommer [78]), da im ersteren Zeitpunkte die unteren Schichten weit weniger von ihrem Sättigungsgrade entfernt sind, als im letzteren. Stellen wir schematisch die Erscheinungen zusammen, welche auf der Verdunstung der Regentropfen während ihres Herabfallens aus der oberen Wolkenregion zur Erdoberfläche beruhen, so ergiebt sich Folgendes:

I) Die Luft ist mit Wasserdünsten gesättigt, so dass keine Verdunstung Statt finden kann.

II) Die Expansivkraft der Dünste ist noch von ihrem Maximum bei der bestehenden

---

76) Vgl. Kämtz *Lehrb. der Meteorog.* Th. I. p. 418. Die schnelle Zunahme zeigt, dass sie nur in den untersten Schichten Statt findet, und es beweist also nichts gegen Leop. v. Buch's Theorie, wenn Lukas Howard (Gilb. *Annal.* XLI. S. 418.) in dem unteren Ombrometer wohl bisweilen nur eben so viel wie in dem oberen, aber nie weniger fand.

77) Gilb. *Annal.* Bd. LXIV. S. 184.

78) Poitevin *Essai sur le climat de Montpellier.* p. 72.

Digitized by Google

Lufttemperatur entfernt. Verdunstung der Regentropfen.

1) Diese kann bei gehöriger Trockenheit der Atmosphäre so stark sein, dass die Regentropfen verschwinden. Ueber diese Erscheinung wollen wir gleich nachher noch einige Worte hinzufügen.
2) Die Temperatur ist so hoch, dass die Verdunstungskälte nicht das Gefrieren der Regentropfen bewerkstelligen kann. Diese condensiren daher während ihres Niederfallens Wasserdünste und schwellen an. In den Ombrometern an der Erdoberfläche findet sich daher mehr Regenwasser vor, als in den höher aufgestellten.
3) Die Temperatur der Schichten, durch welche die Regentropfen hindurchfallen, ist niedrig genug, damit sie durch die Verdunstungskälte gefrieren können — Hagel.

Was das Verdunsten der Regentropfen bei wolkigem Himmel anbetrifft, so ist dies eine ganz analoge Erscheinung wie der Regen bei durchaus heiterem Himmel. Solcher Regen ist von Al. v. Humboldt [79]), Kämtz, Macvicar [80]) u. a. m. wahrgenommen worden. Hieher gehören die Regenbogen bei heiterem Himmel [81]).

---

79) *Voyage.* Tom. V. p. 715.

80) *Journal of Science* I. p. 117. Schweigger's *Journ.* LVI. p. 385.

81) Kämtz in Schweigg. *Journ.* a. a. O. p. 389. Foggo in *Journ. of Science.* III. p. 369. Aus diesen Er-

Digitized by Google

Bemerkungen.

*) In Heidelberg, welches in 49° 20′ n. Br. liegt, sind die täglichen Barometervariationen im Mittel der jährlichen Barometer- und Thermometerbeobachtungen noch sehr bemerklich. Muncke (Gehler's *phys. Wörterb.* N. Ausg. I. S. 926) fand den Umfang der ersten Periode von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Abends = $0^{mm},74$, den der zweiten von 11 Uhr Abends bis 9 Uhr Morgens = $0^{mm},63$. Wir können uns unmöglich darauf einlassen, nachzuweisen, bis zu welcher Breite und unter welchen Modificationen sich das Phänomen durch die Beobachtung darbietet: indessen wollen wir bemerken, dass es noch in 63° 30′ n. Br. zu Störda hlen, nördlich von Drontheim, von Heyerdahl wahrgenommen worden ist, obgleich in dieser Breite, ebenso wie in Christiania, nach Hansteen's Beobachtungen, selbst die monatlichen Mittel noch Unregelmässigkeiten darbieten. (S. Schweigger's *Journal.* Bd. XLVII. S. 174. XLV. S. 171.)

†) Ueber die Seltenheit der atmosphärischen Niederschläge in Aegypten habe ich ausführlich *Meteorolog. vet. Graec. et Romanor.* VI, 17. not. 6. p. 106. VI, 28. not. 19. p. 141. u. a. a. O. gehandelt.

---

scheinungen erklären sich Blitze und Donner bei heiterem Himmel. Vgl. besonders Volney *Tableau* p. 203.

Digitized by Google

**) Wo die Gewitter selten sind, ergiebt sich hiernach, dass der Thau häufig sein müsse. Ebenso selten in Nordamerika in der Nähe der grossen Seen des Lorenzostromes die Gewitter sind, ebenso ungewöhnlich stark ist daselbst der Thau, woraus sich die Häufigkeit der jene Gegenden umhüllenden Nebel erklären lässt (*Transactions of the American Society for promoting useful knowledge, held at Philadelphia.* Vol. IV. p. 225). So ist ferner der Thau äusserst stark in Chili (Caldcleugh *Travels in South-America.* Tom. I. p. 341), dagegen die Gewitter äusserst selten (ebendas. p. 342). Wenn mithin Dalrymple (*Historic. collect.* Vol. I. p. 68) von der Insel Christina sagt: „*They never perceived lighthning or dew,*“ so schenkt man gewiss gern Fleurieu Gehör, welcher (*Voyage de Marchand.* Tom. I. p. 406) bemerkt, dass Dalrymple die spanischen Worte *raio* (Gewitter) und *rocio* (Thau) verwechselt habe.

Digitized by Google

Anhang.

Ueber die Abnahme des Wärmestoffs mit der Höhe.

V.

Bestände unser Planet nur aus einem luftförmigen Sphäroide ohne inneren festen Kern, ähnlich Herschel's planetarischen Nebelflecken oder der Materie, welche Laplace bei der uranfänglichen Bildung der Planeten voraussetzt, so werden die Lichtstrahlen keine andere Wirkung darauf ausüben, als vermöge der Exstinction des Lichtes die dichteren Schichten mehr erwärmen, als die oberen dünneren. Das Gesetz dieser Lichtabnahme ist entwickelt in Laplace *Exposition du Système du monde* *). Kommt nun der feste Kern hinzu, so treten hier als Ursachen der Temperaturzunahme von der äusseren Oberfläche unserer Atmosphäre nach dem Inneren derselben hin die Wirkung der strahlenden Wärme und der aufsteigende Luftstrom hinzu. Die aufsteigende Luft wird, je

*) Tom. I. p. 157.

Digitized by Google

höher sie kommt, desto bedeutender ausgedehnt, erhält also eine grössere Wärmecapacität, als sie an der Erdoberfläche hatte, und so wird Kälte erzeugt. Die aufsteigende Luft wird dagegen durch andere, kältere ersetzt, welche, unter grösseren Druck gelangt, ihre Capacität vermindert und unten Erwärmung bewirkt. Auf diesen Umstand hat zuerst besonders Leslie *) aufmerksam gemacht. Eine vierte Ursache tritt noch hinzu, welche bei der Temperaturabnahme in der Höhe der Atmosphäre mitwirken könnte, die Wärmeleitung vom Boden durch die unteren Luftschichten zu den höhern. Wir wollen diese Ursachen einzeln betrachten und untersuchen, welchen Einfluss sie ausüben können. Was die Wärmeleitung anbelangt, so ist es eine schon seit längerer Zeit anerkannte Thatsache, dass die Luft ein äusserst schlechter Wärmeleiter ist: ja einige Physiker haben behauptet, dass sie die Wärme gar nicht durch Mittheilung fortzupflanzen im Stande wäre. Das Resultat nämlich aus den vielfältigen in dieser Beziehung von Rumford angestellten Versuchen **) ist, dass jedes Luft-

*) *Elements of Geometry.* 2d edit. p. 493. *Ueber das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit.* Uebers. von Brandes. Leipz. 1823. S. 13. *Annals of Philosophy.* XIV. p. 26.

**) *Essays* I, 6. Gren's *Journal d. Phys.* Bd. V. S. 245 — 280. *Philosoph. Magazine.* II. p. 343. Dasselbe fand Rumford für alle übrigen einfachen und zusammengesetzten Gasarten und alle expansiblen Dünste. Gilb. *Annal.* III. p. 338. Daher kann der Dunstgehalt

Digitized by Google

theilchen für sich selbst Wärme von anderen Körpern erhalten und ihnen auch wieder abge-

---

der Atmosphäre keinen Einfluss auf die Wärmeleitung vermöge derselben äussern, wie dies allerdings der Dampfgehalt, d. h. das in der Atmosphäre mechanisch fein vertheilte tropfbar-flüssige Wasser, thut; s. Gilb. *Annal.* V. p. 308. Gegen Rumford's Theorie sind mannigfaltige Einwürfe erhoben worden, von Socquet (*Journal de Physique* XLIX. p. 441. Gilb. *Annal.* VI. p. 407), Thomson (Nicholson *Journal of Natural Philosophy* IV. p. 529. *new Series* I. p. 81. Gilb. *Annal.* XIV. p. 129. 146.), Dalton (*Manchester Memoirs* V. p. 373. Nicholson *Journal* n. S. IV. p. 56. Gilb. *Annal.* XIV. p. 184.), Murray (Nicholson *Journal* I. p. 165. 242. Gilb. *Annal.* XIV. p. 158.), Biot (*Bulletin de la société philomathique* nr. LIII. LXII.), Parrot (Gilb. *Annal.* XVII. p 257. 369), Berthollet (Nicholson *Journal* VIII. p. 134.). Ihre Angriffe beziehen sich aber nicht sowohl auf die ausdehnsamen, als vielmehr meistentheils auf die tropfbaren Flüssigkeiten, und auch hier zeigen sie nichts Anderes, als dass dieselben sehr schlechte Wärmeleiter sind, während Rumford ihnen eine absolute Unfähigkeit zuerkannte. Fordyce und seiner Gefährten Wagniss, sich in die Luft eines Ofens von 300° Temperatur hineinzubegeben, zeugt gewiss, wo nicht für die Rumford'sche Theorie, doch für das sehr geringe Wärmeleitungsvermögen der expansiblen Flüssigkeiten. Aehnliche Versuche von Chabert, dem sogenannten Feuerkönige, sind bekannt; s. Gilb. *Annal.* VI. p. 413. v. Froriep *Notizen.* Bd. XXV. nr. 540. p. 192. Diesen Beispielen will ich ein anderes ebenso auffallendes hinzufügen, welches Hamilton (Gilb. *Annal.* V. p. 433) erzählt. Bei dem Ausbruche des Vesuv im Jahre 1794 stürzte sich ein Lavastrom durch Torre del Greco, welches er grösstentheils verwüstete, hindurch ins Meer. In dem Orte selbst umgab die Lava Keller, ohne dass das Schiesspulver, welches sich in denselben befand, entzündet wurde, und Menschen, welche sich in Zimmern befunden, bis zu wel-

Digitized by Google

ben könne, dass aber unter den Theilchen selbst keine Mittheilung Statt findet, da die gegenseitige Wärmestrahlung der einzelnen Moleküle ein fortwährendes Gleichgewicht der Wärme wieder herstellt. Hieraus folgt, dass, obgleich die einzelnen Lufttheilchen die Wärme den Körpern entziehen und von einem Platze zu einem andern fortpflanzen können, doch eine Luftmasse, deren Theilchen sich alle im Zustande der Ruhe befinden und darin verharren, gänzlich undurchdringbar für die Wärme und so ein vollkommener Nichtleiter sein müsse [82]). Dies kann

---

chen sie hinaufreichte, wurden, obgleich sich die Lava in rothglühendem Zustande befand, keinesweges von übermässiger Hitze afficirt. In dem Hause eines Feuerwerkers, welches die Lava umgeben hatte, lag eine beträchtliche Menge Feuermaterial und Schiesspulver; aber ungeachtet der Lavastrom selbst in ein Zimmer hineingedrungen war, so rettete er doch glücklich seine sämmtliche Habe einige Tage nachher.

82) Es mag bei dieser Gelegenheit eine Erscheinung erklärt werden, welche oft erwähnt worden, und die, so viel ich weiss, bis jetzt noch keine genügende Erklärung gefunden hat; nämlich das beschleunigte Sieden des Wassers, wenn man einen gepulverten Körper in das Gefäss wirft. Die untere Schicht der Flüssigkeit empfängt nämlich von dem Boden des Gefässes ihre Wärme, ist aber nicht im Stande, sie der benachbarten Schicht mitzutheilen, sondern steigt durch die kälteren Schichten auf und gestattet das allmälige Niedersinken derselben. Liegt nun ein pulverförmiger Körper noch am Boden, so wird einmal das zwischen seinen Interstitien befindliche Wasser unmittelbar vom Boden, dann von den einzelnen Pulverkörnern, und zuletzt noch die zunächst darüber liegende Schicht der Flüssigkeit erwärmt, so dass das Aufsteigen der wärmeren Lufttheilchen und

Digitized by Google

also keine Ursache sein, weshalb die Temperatur der Atmosphäre in höheren Regionen abnimmt. Was die Wärmestrahlung anbetrifft, so bleibt sie, wie E. Schmidt gezeigt, in allen, wenigstens den erreichbaren, Höhen der Atmosphäre nahe dieselbe [83]). Nimmt man nämlich die obenerwähnten Gesetze über die Erwärmung an, so ist die Intensität der Wärme in irgend einem physischen Punkte des Raumes direkt der Grösse des Elementes der leuchtenden Oberfläche, direkt dem Sinus des Ausflusswinkels, und umgekehrt dem Qnadrate der Entfernung vom ausstrahlenden Elemente proportional. AMQN stelle die Erde vor, Mn eine Zone, zwischen (s. Fig. 4) zwei unendlich nahe liegenden Parallelkreisen, deren Pol in Q liegt, also das wärmestrahlende Element $= d\Omega$, L sei der physische Punkt, dessen durch Strahlung hervorgebrachte Wärme gesucht wird, c der Mittelpunkt der Erde, MB die an die Kugel in M gezogene Tangente, natürlich in derselben Ebene mit L und c belegen, so ist LMB der Emanationswinkel $= \mu$. Bezeichnen wir nun den Abstand von L mit r, so ist die unendlich kleine Erwärmung, also

---

das Herabsinken der kälteren beschleunigt wird. Derselbe Umstand waltet ob, wenn man das Gefäss mit vertikalen und horizontalen, die Wärme gut leitenden Metalldrähten durchzieht.

83) *Lehrb. der mathematischen u. phys. Geogr.* II. p. 268. Denselben Beweis giebt schon Plana *Memorie della reale accademia di Torino.* Tom. XXVII. p. 144—146.

Digitized by Google

$$d\omega = \frac{c \cdot d\Omega \cdot \sin \mu}{r^2}$$

nach dem oben gegebenen Gesetze, wo c eine constante Grösse ist, wenn die wärmestrahlende Kraft jedes Elementes als gleich betrachtet wird, oder:

$$\omega = c \int \frac{d\Omega \cdot \sin \mu}{r^2}$$

wo alle Grössen, vor Vollziehung der Integration, als Funktionen einer und derselben veränderlichen Grösse ausgedrückt werden müssen. Setzt man also $MLB = \varphi$, $LB = h$, $Bc = a$, so ist:

I) $a^2 = r^2 + (a+h)^2 - 2r\,(a+h)\cos\varphi$ die Gleichung des Kreises.

II) $d\Omega = 2\pi\sqrt{r^2 d\varphi^2 + dr^2} \cdot MP$ die Gleichung für den Inhalt der Zone.

$$= 2\pi r \sin\varphi \sqrt{r^2 d\varphi^2 + dr^2}$$

mithin:

$$\omega = 2\pi c \int \frac{\sin\varphi \sin\mu \sqrt{r^2 d\varphi^2 + dr^2}}{r}$$

Die Differentiation der Gleichung I ergiebt:

$0 = r dr - (a+h)\cos\varphi\, dr + r\,(a+h)\sin\varphi\, d\varphi$

oder: $r d\varphi = \frac{(a+h)\cos\varphi - r}{(a+h)\sin\varphi} dr$

und $r^2 d\varphi^2 + dr^2 = dr^2 \left[\frac{(a+h)^2 - 2(a+h) r \cos\varphi + r^2}{(a+h)^2 \sin^2\varphi}\right]$

mithin $r^2 d\varphi^2 + dr^2 = \frac{a^2 dr^2}{(a+h)^2 \sin^2\varphi}$

da $(a+h)^2 - 2(a+h) r \cdot \cos\varphi + r^2 = a^2$ ist.

Digitized by Google

Folglich hat man:

$$\omega = \frac{2\pi c \cdot a}{a+h} \int \frac{dr}{r} \cdot \sin \mu$$

Ferner ist im Dreiecke Lmc:

$$Lc^{-2} = LM^{-2} + Mc^{-2} - 2 \cdot LM \cdot Mc \cdot \cos LMc.$$

oder, weil $LMc = 90° + \mu$, mithin also

$\cos LMc = -\sin \mu$ ist:

$$(a+h)^2 = a^2 + r^2 + 2ar \sin \mu \text{ und:}$$

$$\sin \mu = \frac{2ah + h^2}{2ar} - \frac{r}{2a} \text{ und folglich:}$$

$$\int \frac{dr}{r} \cdot \sin \mu = \frac{2ah+h^2}{2a} \int \frac{dr}{r^2} - \int \frac{dr}{2a}$$

$$= \text{Const.} - \frac{2ah+h^2}{2ar} - \frac{r}{2a}.$$

Für $r = LB = h$, den Anfang des Integrals, ist

$$0 = \text{Const.} - \frac{a+h}{a}$$

und mithin: $\int \frac{dr}{r} \cdot \sin \mu = \frac{a+h}{a} - \frac{2ah+h^2+r^2}{2ar}$.

AL erreicht den äussersten Werth in dem Punkte, wo es die Erde berührt und alsdann ist:

$$r^2 = (a+h)^2 - a^2 = 2ah + h^2.$$

So erhält man denn das vollständige Integral:

$$\int \frac{dr}{r} \cdot \sin \mu = \frac{a+h}{a} - \frac{\sqrt{2ah+h^2}}{a^2}$$

$$\text{also } \omega = 2\pi c \left[1 - \frac{\sqrt{2ah+h^2}}{a+h}\right]$$

$$\text{oder } \omega = 2\pi c = \text{Const.}$$

da der Faktor $\left[1 - \frac{\sqrt{2ah+h^2}}{a+h}\right]$ für jedes nicht

Digitized by Google

sehr grosse h der Einheit gleich gesetzt werden kann. Hiernach ist die durch Wärmestrahlung erzeugte Temperatur in der ganzen Höhe der Atmosphäre nahe constant, also kommt die Wärmestrahlung durchaus nicht bei der Untersuchung über die Temperaturabnahme in den höheren Regionen des Luftkreises in Betracht. Wir wenden uns zur dritten der oben angegebenen Ursachen, zur Absorption des Sonnenlichtes. Es mag allerdings nicht geleugnet werden, dass diese Ursache von einigem, wenn auch geringerem, Einflusse sein könne da, wo die Temperaturabnahme in einer Luftsäule, fern von festen Körpern, bestimmt werden soll (also bei Luftfahrten), wie denn in der That Schmidt [84]) auf theoretischem Wege fand, dass diese Absorption eine Wärmeverminderung von 1° auf 170′ par. Höhe hervorbringen könne, was ungefähr $\frac{1}{5}$ der aus den Beobachtungen hergeleiteten Grösse beträgt; dass sie dagegen durchaus nicht anwendbar sei, die geringere Temperatur der

84) Horace de Saussure (*Voyage dans les Alpes* §. 2003.) sagt: „*La partie supérieure de la colonne d'air, comprise entre la plaine et la montagne, est beaucoup plus froide autour du Mont-blanc qu'à pareille hauteur dans l'air libre ou sur d'autres montagnes, à cause de la ceinture de neiges et de glaces qui l'entourent presque dès sa base, et qui donnent à cette partie de l'atmosphère une densité plus grande.*“ Abgesehen von seiner Erklärung, die ein Cirkelschluss ist, und deren Richtigkeit auch Ramond (*Mémoires sur la formule barométrique de la Mécanique céleste.* p. 2.) bezweifelte, so ist doch die Thatsache unbestreitbar richtig.

Digitized by Google

hohen Bergspitzen zu erklären, indem sich hier vielmehr gerade das Gegentheil aus ihr folgern liesse. Auf den hohen Bergen nämlich haben die Sonnenstrahlen, da noch bei weitem weniger Luft absorbirt worden ist, eine bedeutendere Intensität: sie müssten also den Boden mehr erwärmen, als dies in der Ebene der Fall ist. Aber die Bergspitzen sind stets kälter, als die umgebende Luft, wie man aus den um ihren Gipfel sich lagernden Wolkenmassen und dem, unten näher zu beleuchtenden, Umstande ersieht, dass die Schneegränze erst da anfängt, wo die mittlere Lufttemperatur unter den Gefrierpunkt herabgesunken ist [84]). Dass indess auf den Bergen eine wahrhaft stechende Hitze herrsche, zeigen die von Sabine [85]) auf Jamaika angestellten, von Muncke [86]) angeführten Versuche. Ein geschwärztes Thermometer stieg durch den Einfluss der Sonnenstrahlen im Spiegel des Meeres im Mittel 20°,3 über die Wärme der umgebenden Luft, in einer Höhe von 4080 engl. Fuss aber 32°,8, so dass die absolute Differenz 12°,5 betrug. Der Unterschied der Temperatur an beiden Stationen war 7°,2. Werden diese abgerechnet, so beträgt dennoch die relative Differenz der Wärmeerzeugung in jener Höhe über die untere

---

85) *An Account of Experiments to determine the figure of the earth.* London 1825. 4to. p. 507. Daniell *meteorological essays and observations* p. 220 — 221.

86) Gehler's *phys. Wörterb.* N. Ausg. III, 2. p. 1045.

Digitized by Google

noch 5°, wenn man auf den Bergen das Resultat eines einzigen Tages, an der unteren Station aber das Maximum aus 6 Tagen nimmt. Hiegegen muss man rechnen, dass das obere Thermometer bei Nacht mehr Wärme verlor, als das untere, wie Sabine meint, durch Strahlung. Das obere, dem freien Himmel ausgesetzte Thermometer mit einer geschwärzten Kugel fiel nämlich in einer Nacht um 10° mehr, als ein im Schatten befindliches, gegen Strahlung gesichertes; zwei solche verglichene Thermometer an der unteren Station differirten aber nur um 5° im Mittel aus 7 Nachtbeobachtungen (das Maximum der Differenz betrug 6°,4). Nehmen wir auf dieses letztere keine Rücksicht, so verlor das obere 5° Wärme mehr, als das untere bei Nacht, und gewann 12°,5 mehr bei Tage; ja sogar mit Rücksicht auf die oben einmal vorhandene grössere Kälte war die Wärmeproduktion oben mindestens eben so gross und eigentlich noch überwiegend grösser, als die Wärmeverminderung in Vergleich mit beiden Resultaten an der unteren Station. Al. v. Humboldt[87]) beobachtete auf dem Antisana in 2773t Höhe im Schatten noch eine Temperatur von 19°. Prechtl[88]) nimmt an, dass die grössere Kälte der Bergspitzen durch die Wirkung der Sonne vereint mit den jene Spitzen unaufhörlich be-

87) *Essai sur la Géogr. des Plantes* p. 81.
88) Gilbert's *Annalen.* LXXVI. p. 264.

Digitized by Google

rührenden kälteren und trockenen Luftmassen bedingt würde: erstere bringt, wie wir eben gesehen, gerade das Gegentheil hervor, und eben so auch letztere, da durch den Niederschlag der Dünste in tropfbar-flüssiger Gestalt Wärme erzeugt wird, und sich keine Ursache absehen lässt, weshalb die Verdunstung oben mehr befördert und dadurch wiederum grössere Kälte erzeugt werden sollte, als unten. Auf jeden Fall müsste, wenn die Verdunstungskälte die Erscheinung erklären sollte, doch erst nachgewiesen werden, woher die Kälte kam, durch welche die ersten reichlichen Niederschläge in fester Gestalt erzeugt wurden, so dass die Frage durch Prechtl's Erklärung nur in die ungewissen Zeiten der Vorwelt zurückgeschoben wird. Wie sich hiernach ergiebt, dass die Temperatur, auf den Bergen wenigstens, zunehmen müsste, so nahm Dan. Bernoulli in seiner Hydrodynamik, durch die falschen Beobachtungen des Pater Feuillée verleitet, in der That an, dass die Temperatur in der Höhe unserer Atmosphäre fortwährend steige [89]), und dasselbe versicherte der Capt. Sowdon, welcher Garnerin auf einer Luftreise begleitete, dessen übrige handgreifliche Unwahrheiten ihm aber den Titel eines Lügners mit vollem Rechte vindiciren [90]). Wir gehen jetzt zu der vierten der oben er-

89) v. Humboldt *Voyage.* Part. IV. Vol. I. p. 137.
90) Gilbert's *Annalen.* XVI. p. 31.

Digitized by Google

wähnten, zuerst von Al. v. Humboldt [91]) aufgestellten Ursachen über. Bevor wir aber zeigen, in wie fern diese einen Einfluss auf die Wärmeabnahme in grösseren Höhen ausüben könne, ist es nöthig, dass wir die bisherigen Erfahrungen über dieselbe, den numerischen Angaben nach, zuvörderst mittheilen. Noch immer sind die von demselben vielgereisten Physiker angestellten Beobachtungen diejenigen, welche das meiste Zutrauen verdienen [92]). Er fand:

---

91) Gilb. *Annal.* XXXI. p. 369. an den in der nächsten Anmerkung angeführten Stellen und an mehreren Orten seiner Werke.

92) *Essai sur les réfractions de la zône torride* in *Recueil d'observations astronomiques. Voyage.* Part. IV. Vol. I. p. 131. v. Zach *monatl. Correspondenz.* Bd. XXI. p. 107. Gilb. *Annal.* XXXI. p. 365. *Essai sur la Géographie des Plantes, suivi d'un tableau physique des régions équinoxiales* p. 81.

Digitized by Google

Beobachtungsörter.	Breite.	Höhe.	Barometer.	Temperaturdifferenz zw. beiden Stationen.	Wärmeabnahme für 1° C.	1° R.
Coffre de Perotte, sonst Naucampatepetel in Mexico	19° 29′ n.	4047m	207‴,3 par.**)	22°,1	183m,1	147,3
Nevada de Toluca . .	10° 6′	4619	195‴,5 ***)	23,2	198,7	128,1
Silla de Caracas	10° 37′	2603	. . .	13,7	189,8	121,4
Fuerte de la Cuchilla . .	10° 33′	1512 *)	. . .	8,5	177,8	114,1
Guadeloupe .	4° 36′	3287	229‴,9 †)	16,9	194,4	124,3
Pichincha .	0° 14′ s.	4679	193‴,5 ††)	23,7	197,8	126,3
Chimborazo .	1° 28′ s.	5878	167‴,2 †††)	29,1	201,9	129,4
Pico de Teneriffa	28° 17′ n.	3704	. . .	(20,1 (19,0	(184,2 (194,9	(118,3 (125,3
Mittel	. . .	. . .	. . .	. . .	191m,4	122°,6.

Bemerkungen. *) Nach Al. v. Humboldt *Nivellement barométrique* p. 296. nr. 21. 1573m. **) a. a. O. p. 432. nr. 419. ***) ebendas. p. 329. nr. 392. †) p. 300. nr. 75. ††) p. 308. nr. 183. †††) p. 311. nr. 204. +*) Die letzte Bestimmung ist von Lamanon auf La Pérouse's Expedition. *Voyage* Tom. II. p. 21.

Die drei vorletzten Beobachtungen geben Höhen für 1° Wärmeabnahme, die das Mittel übertreffen. E. Schmidt [93]) hat daher, statt einer in arithmetischer Progression fortschreitenden Wärmeabnahme, eine aus zwei Gliedern bestehende Reihe angenommen, so dass, wenn h die Höhe,

93) *Lehrb. der mathemat. und phys. Geographie.* II. p. 269 — 272.

Digitized by Google

t die derselben entsprechende Temperaturdifferenz bedeutet, allgemein h durch die Formel:

$$h = at + bt^2$$

ausgedrückt wird, in welcher er die Koëfficienten a und b aus obigen Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt und gefunden hat, dass:

$$h = 533,7^t + 3,153^{t2}$$

wodurch man h in pariser Fussen ausgedrückt erhält, und für die Temperaturdifferenz, wenn h in diesem Maasse gegeben ist:

$$t = \frac{h}{533,7} - \frac{1}{169}\left(\frac{h}{533,7}\right)^2.$$

Diese Formel passt aber nicht auf andere in Südamerika angestellte Beobachtungen [94]), aus denen sich folgende Resultate ergaben:

Beobachtungsorte	Höhe	Temperat.	Temp. Differenz	Wärmeabnahme	Mittel.
Tomependa	1200′,59	25°,8	1°,7	706′,2	von 0′ — 4000′
Antioquia	1563,85	25,0	2,5	625,5	
Neiva . .	1597,71	25,0	2,5	639,1	537′,2
Caripe . .	2776,75	18,5	9,0	308,2	
Caracas .	2727,50	20,8	6,7	407,2	
Medellin .	4559,17	20,5	7,0	651,3	von 4000′ — 6000′
Estrella .	5297,99	18,8	8,7	608,9	623′,4
Popayan .	5458,07	18,7	8,8	620,2	
Loxa . .	6433,94	18,0	9,5	678,3	von 6000′ — 8000′
Almagues .	6957,27	17,0	10,5	662,6	
Pamplona .	7523,71	16,2	11,3	666,7	
Alausi . .	7480,61	15,0	12,5	598,4	625′,3
Pasto . .	7797,69	14,6	12,9	604,4	
Sta. Rosa .	7939,30	14,3	13,2	601,4	
St. Fé de Bogota . .	8185,57	14,3	13,2	620,1	über 8000′
Hambuto .	8102,45	15,8	11,7	629,5	684,4
Cuenca .	8952,10	15,6	11,9	752,3	
Quito . .	8936,71	14,4	13,1	682,2	
Allg. Mittel					611′,8

94) *Mémoires d'Arcueil.* III. p. 580. *Semanario del Nuevo regno de Granada.* Tom. I. p. 273. II. p. 93 — 341.

Digitized by Google

Die Temperatur in der Ebene ist 27°,5 für alle Orte angenommen, als die unter dem Aequator herrschende, in dessen Nähe alle diese Orte liegen. Schon hierin liegt eine der Ursachen, weshalb sich bei den einzelnen Beobachtungen so bedeutende Differenzen zeigen, eine andere in der Wärmestrahlung der Hochebenen, wovon gleich die Rede sein soll, wodurch die Temperatur in der oberen Station an manchen Orten zu gross geworden ist, wogegen sie zu klein an denjenigen ausgefallen ist, welche in der Luft isolirt, an steilen Bergabhängen liegen, wie Caripe, Caracas. Indessen ergeben doch alle diese Beobachtungen, dass in der Formel von Schmidt:

$$h = 533,7^t + 3,153^{t2}$$

das zweite Glied positiv zu nehmen sei (obgleich sich die einzelnen Beobachtungen nur mit äusserst grossen Differenzen, die sogar bisweilen das Doppelte betragen, an die Formel anschliessen, wie die von mir angestellte Berechnung ergab), während die Beobachtungen von Gay-Lussac, welche er bei seiner Luftfahrt über Paris fand, das Gegentheil ergaben. Gay-Lussac fand nämlich bei der Annahme einer gleichmässigen Wärmeabnahme mit der Höhe, $173^m = 88^t,6$ für die ganze, von ihm erreichte Höhe von 7000^m; von der Erdoberfläche an bis zu 3691^m Niveaudifferenz ergab sich die einer Temperaturverminderung von 1° entsprechende Höhe $191^m = 98^t$, von hier bis zu 7000^m, $141^m = 72^t,34$

Digitized by Google

und für die letzten 2000^{m} rechnet er nur 134^{m} = 68^{t},76 und findet also eine mit der Erhebung beschleunigte Wärmeabnahme [95]). Graham und Beaufoy fanden bei ihrer Luftfahrt am 17. Juni 1824:

Barom.	29″,8	engl.	Therm.	14°,$\frac{4}{9}$ R.
—	25″,5	—	—	5°,$\frac{7}{9}$ R.
—	23″,3	—	—	3°,$\frac{1}{9}$ R.
—	19″,3	—	—	0° —

woraus Muncke [96]) in der ersten Station eine Wärmeabnahme von 62^{t}, in der zweiten von 112^{t}, in der dritten von 111^{t}, im Mittel also von 95^{t} herleitete. Sacharow's [97]) Beobachtungen auf seiner Luftfahrt mit Robertson sind durch die Schuld des Letzteren nicht zuverlässig; sie ergeben aber nach Muncke's wahrscheinlicher Berechnung für die ersten 300 Toisen auf 1° eine Niveaudifferenz von 122^{t},4; für die zweiten 300 Toisen: 128^{t}; für die dritten 108^{t}; für die vierten und

---

95) *Annales de Chimie.* Tom. LII. p. 75. Gilb. *Annal.* XX. p. 19. *Journal de Phys.* LXXI. p. 35. *Journal des Mines.* XXIV. p. 22. Es ist auffallend, wie in so vielen über diesen Gegenstand handelnden Büchern und Abhandlungen sich eine so grosse Confusion bei dem Gebrauche der Bezeichnungen: beschleunigte und verringerte Wärmeabnahme eingeschlichen hat. Es ist ganz klar, dass, wenn die Höhe, welche man ersteigen muss, um 1° Temperaturdifferenz zu erhalten, abnimmt, die Wärmeabnahme beschleunigt ist, und dass im entgegengesetzten Falle das Umgekehrte Statt findet.

96) Gehler *phys. Wörterb.* N. Ausg. III, 2. p. 1015.

97) Gilbert's *Annalen.* XX. p. 107.

Digitized by Google

letzten endlich 68'— 72; im Mittel also 77' — 78',4. Sie stimmen darin mit den von Gay-Lussac angestellten überein, dass sie eine beschleunigte Wärmeabnahme angeben. Aus allen bisher angestellten Beobachtungen lassen sich folgende Resultate herleiten:

I) Da die Wärmeerzeugung, namentlich unter dem Aequator und in niederen Breiten, auf ausgedehnten Ebenen grösser sein muss, als an Abhängen spitzer Berggipfel, wo der Einfallswinkel geringer ist: so geht daraus hervor, dass von dem Niveau des Meeres bis zu Hochebenen (Plateaux) in den Gebirgen die Wärmeabnahme geringer sein wird, als wenn man sie bis zu einer gleichen Höhe an Bergabhängen, oder noch besser in freier Luft gemessen hätte. Dies wird durch die schon von Villar [98]) aufgestellte, von Alex. v. Humboldt bestätigte, Thatsache nachgewiesen, dass Pflanzen der Ebene da am höchsten sich an den Gebirgen aufwärts erheben, wo die Masse derselben am grössten ist. Humboldt fand nun:

---

98) Saussure *Voyages dans les Alpes* §. 936.

Digitized by Google

Beobachtungsorte	Breite	Barometer	Höhe	Mittl. Temp.	Wärmeabnahme für 1° C.	Wärmeabnahme für 1° R.
Quito . .	0° 13′ 17″ s.	241‴ bei + 14° R. *)	2908m	50°,0	244m,4	157t
Popayan .	2° 26′ 17″ n.	275‴,5 bei + 5° R. **)	1772	20, 6	283, 1	181,6
Sta. Fé de Bogota	4° 35′ 48″ n.	248‴,5 bei + 16° R. ***)	2661,4	16, 5	256, 1	164,5
Mexico .	19° 25′ 55″ n.	259‴,7 bei + 16° R. †)	2277,3	16, 9	249, 3	160,6
Mittel	. . . . .	. . . . .	. . .	. . .	258m,4	165t,7

Bemerkungen. *) a. a. O. p. 308. nr. 176. „*Le baromètre se soutient dans la zône torride constamment dans la même hauteur.*“ Humboldt in Thomson *Chimie* par Riffault Tom. I. *Introd.* p. 98. **) p. 303. nr. 125. ***) p. 300. nr. 79. †) p. 320. nr. 285.

Noch bedeutender tritt dieser Einfluss, welchen die Wärmestrahlung der Ebenen auf die Temperaturabnahme in der Höhe der Atmosphäre äussert, auf dem Himalayagebirge hervor, wo die Schneegränze, wie wir weiter unten sehen werden, erst in bedeutenderer Höhe anfängt, als es, der geographischen Breite nach, zu erwarten war, wo Webb in 14004′ Höhe (die Schneegränze sollte schon in 11500′ anfangen) auf den Abhängen von Sutledge an der Nordseite des Passes Niti Pappeln und 8′ hohe Tamarisken, Weideplätze und Kornbau fand, in einer Gegend, wo nach den Angaben von Moorkraft der Sommer erst in der Mitte Juni beginnt und um Mitte August endet, da den 28. des letzteren Monats bei — 1°,7 zwei Zoll dickes Eis fror. Gerard fand erst in 15962′ Höhe die letzte Pflanze, eine geruchlose Salvia 99). In unseren

99) *Journal of Science.* I. p. 45.

Digitized by Google

Breiten ist die Temperatur an südlichen Bergabhängen, die eine solche Neigung gegen den Horizont haben, dass die Sonnenstrahlen senkrecht auffallen, bedeutend höher, als in der Ebene [100]), und dieser Umstand mag auch zum Theil bei jenen südlichen Bergabhängen des Himalayagebirges mitwirken. Will man aber konisch sich erhebende, steile Berge dazu anwenden, das Gesetz der Temperaturabnahme zu bestimmen, so muss man solche auswählen, welche eine bedeutendere Höhe haben, denn bei niedrigeren [1]) wird die Temperatur oft durch die herabsteigenden Luftströme, welche der Richtung des Gebirgsabhanges folgen, und die daraus fortwährend hervorgehenden Nebel, welche die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen schwächen, geringer ausfallen, als nach der Höhe über dem Meeresniveau zu erwarten war. Ein Beispiel bietet die Temperatur von Cumanacoa in der

---

100) Volney *Voyages en Syrie et en Egypte.* I. p. 303. Leop. v. Buch in Schweigger's *Journal.* XLIV. p. 230.

1) Dachen sich z. B. dieselben nach NW. in Bezug auf die Lage eines bestimmten Punktes ab, so werden an diesem Orte SO. Winde wehen, sobald jene kälteren Luftmassen das Uebergewicht über die an diesem Orte befindlichen erlangen. Daher wehen auf dem adriatischen Meere im Winter, wenn die Seeluft bedeutend wärmer ist, als die über dem ebenen Festlande befindlichen und zumal als die die Gebirge bedeckenden Luftmassen, SO. Winde, wegen der NW. Abdachung der dalmatischen und epirotischen Gebirge; s. v. Zach *Correspondance astronomique* Vol. I. p. 277.

Digitized by Google

Nähe von Cumana dar, das nur 104 Toisen höher liegt, als dieses, und dennoch eine um 4° niedrigere Temperatur hat [2]). In Cumanacoa zeigt aber das Hygrometer von de Luc bei klarem Himmel 55°, bei bewölktem 85°.

II) Es ist eine Thatsache, dass, je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, je tiefer wir in die Erde uns versenken, desto mehr und mehr die täglichen, monatlichen und jährlichen Variationen der Temperatur abnehmen, bis sie zuletzt gänzlich verschwinden, indem die Veränderungen der Temperatur sich gewöhnlich von der Luftschicht, welche der Erdoberfläche am nächsten ist, zu den über ihr befindlichen verbreiten (obgleich dies nicht durchgängig der Fall ist, und sich bisweilen wirklich der entgegengesetzte Gang zeigt, wovon d'Aubuisson [3]) ein Beispiel anführt). Während der 16 Tage, welche Horace v. Saussure auf dem Col du Géant in 3430 Meter Höhe über dem Meere zubrachte, betrug die tägliche Variation nur 5°, während sie in Genf während derselben Zeit bis auf 14° stieg [4]). Es wird sich weiter unten Gelegenheit darbieten, diese Thatsache durch vielfache Beispiele ausser Zweifel zu stellen. Auf den niedrigeren Bergmassen tritt sie indessen

---

2). *Voyage aux régions équinox.* Tom. III. p. 69.

3) Gilb. *Annal.* LXVII. p. 292.

4) *Voyages aux Alpes.* §. 2051. D'Aubuisson *traité de Géognosie.* 2de édit. Tom. I. p. 462.

Digitized by Google

noch nicht deutlich hervor, da die jährliche Variation auf dem St. Bernhard in 7680′ Höhe 54°,95 beträgt [5]), und nach Schouw [6]) das jährliche Mittel aus den täglichen Extremen 5°,3, und auf dem Pic du Midi in 1500ᵗ Höhe nach den Angaben von Ramond noch 45° [7]). Wenn daher Alex. v. Humboldt [8]) glaubt, dass der Unterschied zwischen dem täglichen Medium und der täglichen Mittagstemperatur, welches zu Paris im Mittel 3°,3 beträgt, mit der Höhe der Orte über dem Meeresniveau abnehme, und sich dabei auf die auf dem St. Gotthard (6390′) angestellten Beobachtungen beruft, wo diese Grösse nur 1° betragen solle: so ist der Satz an sich zwar richtig, aber wie Schouw [9]) bemerkt hat, nicht für den St. Gotthard, da nach Wahlenberg [10]) der Unterschied daselbst 3°,28 beträgt; eben so wenig für niedrigere, über das Meeresniveau aber erhobene Orte, wie den Peissenberg, wo die in 3084′ Höhe angestellten, in den mannheimer Ephemeriden verzeichneten Beobachtungen den Umfang dieser Differenz auf 3°,0 angeben, wie für Tegernsee in 2300′ Höhe über dem

---

5) *Hesperus oder encyclopädische Zeitung* von André. XXVII. p. 99. bei Munoke in Gehler's *phys. Wört.* III, 2. p. 1012.

6) *Pflanzengeographie* p. 62.

7) *Bulletin des sciences mathématiques.* 1826 Mai p. 350.

8) *Mémoires d'Arcueil.* III. p. 492.

9) *Pflanzengeograph.* p. 65.

10) *Flora lapponica* p. XLVIII.

Digitized by Google

Meere, wo der Abstand der Thermometerstände um 7ᵘ Morgens und 2ᵘ Abends nach vierjähriger Beobachtungsreihe 4°,8 ist, so dass zwischen den Extremen ein Unterschied von 5°,5 und vielleicht noch mehr Statt findet. Wäre es möglich, sich weit genug von der Erdoberfläche zu entfernen, so würde man zuletzt zu einer Schicht gelangen, in der eine constante Temperatur sich vorfindet. v. Lindenau nimmt an, dass dies in einer Höhe von 5698ᵗ = 34158′ par. Statt finden werde [11]). Den Gesetzen des Gleichgewichtes zufolge muss die Schicht, in welcher diese constante Temperatur herrscht, in allen Breiten, vom Aequator bis zu den Polen, gleich weit von der Erdoberfläche entfernt sein. Hieraus geht nun unmittelbar hervor, dass, wenn man die Höhe für 1° Wärmeabnahme, welche sich aus den mittleren Temperaturen zweier Stationen ergiebt, als mittlere Höhe für die Wärmeabnahme annimmt, diese kleiner sein werde, als die aus Winterbeobachtungen hergeleitete: grösser, als die im Sommer beobachtete; dass

11) *Monatl. Correspondenz* XXI. p. 119. Die Abhandlung, überschrieben: „Beiträge zu einer Theorie der Atmosphäre," ist nicht von v. Zach, sondern von Bernh. v. Lindenau. Auffallend ist es, dass dies Muncke (Gehler's *phys. Wörterb.* III, 2. p. 1012.) und Schmidt *(Lehrb. der mathemat. und phys. Geogr.* Bd. II. S. 275. 276.) nicht bekannt war: kein Wunder aber, dass es Fechner auf guten Glauben abgeschrieben hat, worüber er sich sogar bei Kastner *Handb. der Meteorologie* I. p. 317. hätte Belehrung holen können.

Digitized by Google

die einzelnen Tagesstunden einen bedeutenden Einfluss auf die Quantität der Temperaturverminderung ausüben werden, und dass die Höhe, um welche man steigen muss, um 1° Temperaturdifferenz zu erhalten, unter dem Aequator kleiner sein wird, als unter den Polen. Die beiden ersten Sätze werden genügend durch die Beobachtungen bestätigt, welche v. Saussure auf dem Col du Géant, und durch die, welche d'Aubuisson auf dem Monte Gregorio im Norden der Ebenen von Piemont angestellt hat. Ersterer fand [12]):

Stunden	Höhe für 1° Wärmeabnahme	Stunden	Höhe für 1° Wärmeabnahme
Mitternacht	171^{m}	Mittag	148^{m}
2^{u}	189	2^{u}	140
4^{u}	210	4	142
6^{u}	195	6	141
8^{u}	180	8	143
9^{u}	160	10	157

Die Beobachtungen wurden im Monat Juli in einer Höhe von 3430 Metern angestellt. Das Mittel aus allen ergiebt: 158^{m} oder 81,1 Toisen für 1°. D'Aubuisson's Beobachtungen sind im October angestellt, demjenigen Zeitpunkte des Jahres, wo die mittlere tägliche Temperatur der mittleren jährlichen sehr nahe zu kommen

12) *Voyages dans les Alpes* §. 2050. D'Aubuisson *traité de Géognosie.* Tom. I. p. 463.

Digitized by Google

pflegt. Er fand theils durch eigene Beobachtungen, theils durch Vergleichung der von anderen angestellten [13]):

Beobachtungsörter	Höhen	Zahl der Beobachtungen	Stunde	Höhe für 1° in Metern
St. Bernhard u. Paris	2430m	50	12	162
— — u. Turin	2217	51	12	138
— — — —	—	24	11	134
— — — —	—	24	8	161
— — — —	—	24	4	136
— — u. Aosta	1904	45	12	140
— — — —	—	37	8	143
— — — —	—	26	4	134
Monte Gregorio und Aosta . .	1708	10	12	152
		Mittel	—	147

Das Mittel ergiebt $147^m = 75^t,42$ für 1°. An einem anderen Orte [14]) findet er aus einer anderen Zusammenstellung $149^m = 76^t,5$. Um den Einfluss der Jahreszeiten nachzuweisen, hat er die zu Genf und auf dem St. Bernhard in den Jahren 1818 — 1821 angestellten Beobachtungen verglichen und so gefunden [15]):

---

13) *Journal de Physique*. LXXI. p. 35. Die Angabe der Niveaudifferenz zwischen Aosta und dem St. Bernhard von 1409m bei Muncke a. a. O. p. 1010 ist ein Druckfehler. Auch die anderen Höhen sind nach den neueren Angaben corrigirt.

14) *Traité de Géognosie*. I. p. 439.

Digitized by Google

Monat	Höhen	Monat	Höhen
Januar	221m	Juli	142m
Februar	214	August	149
März	219	Septmbr.	164
April	211	October	241
Mai	222	Novembr.	201
Juni	210	Decembr.	246

Die Beobachtungen sind wegen der Stellung des Thermometers an der oberen Station durchgängig etwas zu gross; zeigen indessen hinreichend, dass die Temperaturabnahme im Sommer bedeutender sei, als im Winter. Dies ergiebt auch folgende von Schouw mitgetheilte Tabelle [15]):

Temperaturdifferenz

Orte	im Jahr	Sommer	Winter	wärmsten Monat	kältesten Monat
Zwischen d. St. Bernh. und Genf	10°,73	11°,61	10°,51	12,°17	8°,98
St. Gotthard u. Mailand	13°,63	17°,40	10°,40	18c,20	9°,50
St. Bernhard und Turin	12°,63	....	....	16°,95	9°,80
Mont Cenis und Turin	6°,33	....	....	5°,37	6°,51

wo also an letzteren Orten eine Ausnahme Statt findet. Schouw theilt ausserdem noch folgende Beobachtungen mit:

15) *Grundzüge einer allgemeinen Pflanzengeographie* p. 451.

Digitized by Google

St. Gotthard 16)	1065t	Höhe, mittlere Temp.	— 0°,84
Mailand 17)	70t	— —	+ 12°,79
	995t	— Temperaturdiffer.	13°,63
also:	73t	Höhenabnahme auf	1°.
St. Bernhard	1278t	Höhe, mittlere Temp.	+ 0°,11
Turin 18)	143t	— —	+ 12°,74
	1135t	— Temperaturdiffer.	12°,63
also:	90t	Höhenabnahme auf	1°
Peissenberg 19)	511t	Höhe, mittlere Temp.	+ 5°,0
Am Niveau d. Meeres in gleicher Breite			+ 12°,0
	511t	Temperaturdifferenz	+ 7°,0
also:	73t	— — auf	1°
Casino del Etna 20)	1533t	Höhe, Temperatur	+ 5°,75
Catania	10t	Höhe — —	+ 26°,80
	1523t	Niveauunterschied auf	21°,05
also:	72t	auf eine Wärmeabnahme von	1°
Nicolosi	360t	Höhe, mittlere Temp.	+ 25°,15
Catania	10t	— —	+ 26°,80
	350t	Niveaudifferenz auf	1°,65
also:	214t	— — auf	1°.

Bei dieser letzteren Beobachtung gilt das oben über die Wärmestrahlung der Bergebenen Gesagte. Ausser den schon angegebenen Beobachtungen

---

16) *Mémoires d'Arcueil* III. p. 586.

17) Césaris Beobachtungen corrigirt von Schouw p. 446.

18) Vassalli-Eandi in *Memorie della reale accademia delle Scienze di Torino.* XXIV. p. 254. Schouw p. 446. vgl. v. Zach *Correspondance astronomique* 1818. Cah. 1. p. 95. Turin hat auf der Südseite der Alpen ein verhältnissmässig wärmeres Klima, als Genf auf der Nordseite.

19) *Mémoires d'Arcueil* III. p. 580. Schouw a. a. O. p. 447.

20) Zweimonatliche Beobachtungen von Gemellaro bei Schouw a. a. O. p. 448.

Digitized by Google

sind uns noch folgende bekannt. Es fanden Niveaudifferenz für 1° Wärmeabnahme:

Al. v. Humboldt	aus den Beobachtungen in Amerika [21]	98t
— — — —	aus den Beobachtungen auf dem Pico von Teneriffa, übereinstimmend mit dem Resultate, welches eine Quelle auf dem Pico bei dem berühmten Pino del Dornajito in 522t Höhe ergab [22]	94t
— — — —	aus der Verbindung anderer Beobachtungen [23]	93t
— — — —	aus der Verbindung anderer Beobachtungen [24]	90t
Ramond fand	aus 38 von Lokalverhältnissen befreiten Beobachtungen auf dem Pic du Midi und anderen Bergen [25]	84t

21) s. oben, und *Mém. d'Arc.* III. p. 693. *Essai sur la géogr. des plantes* p. 85.

22) *Relat. historiq.* Vol. I. p. 120. 141. 305.

23) *Essai sur les réfractions de la zône torride.* *Voyage* Part. IV. Vol. I. p. 129.

24) *Relat. histor.* Vol. I. p. 226.

25) Auf folgender Tafel sind die von Ramond theils aus den Beobachtungen Anderer berechneten, theils von ihm selbst beobachteten Höhen angegeben, welche 1° Temperaturabnahme entsprechen. Der bessern Vergleichung halber sind die von ihm in Meter angegebenen Höhen nach Toisen berechnet worden. Die Tafel ist entlehnt aus *Mémoires sur la formule barométrique de la Mécanique céleste.* Clermont-Ferrand 1811. 1 vol. 4to. p. 189., einer vermehrten und verbesserten Sammlung seiner im National-Institut in den Jahren 1806 — 1809 vorgelesenen Abhandlungen über das Barometer.

Digitized by Google

Schouw aus zwei und zwanzig Beobachtungen

		Höhe der Luftsäule in Toisen	Temperatur an der unteren Station	Temperatur an der oberen Station	Höhe für 1° Wärmeabnahme in Toisen
1	Luftfahrt von Gay-Lussac über Paris	3580t,74	+30°,8	— 9°,5	89t,28
2	Chimborazo — Südmeer	3016, 39	25, 3	— 1, 6	111, 76
3	Mont-Blanc — Genf 12u Morgens .	2244, 19	28, 3	— 2, 9	71, 83
4	— — — 2u Abends . .	———	27, 6	— 1, 6	76, 96
5	Pic von Teneriffa — Orotava (Cordier)	1913, 23	24, 9	+ 8, 4	115, 95
6	Mont-Blanc — Chamouny 12u Morg.	1909, 65	23, 0	— 2, 9	73, 88
7	— — — 2u Ab. .	———	25, 0	— 1, 6	71, 83
8	Aetna — Catania (Saussure) . .	1660, 79	23, 1	+ 4, 4	91, 33
9	Mont-Perdu — Tarbes	1599, 23	25, 6	+ 6, 9	85, 68
10	Col du Géant — Genf	1569, 98	24, 9	+ 4, 5	76, 96
11	Maladetta — Tarbes (Cordier) . .	1489, 92	20, 8	+ 3, 4	85, 68
12	Pic du Midi — Tarbes 26. Jul. 1809 .	1340, 61	27, 5	+ 11,6	84, 15
13	15. Septbr. 1809	———	19, 6	+ 8, 6	122, 11
14	4. — 1803	———	22, 5	+ 8, 1	92, 87
15	12. — —	———	23, 5	+ 10,4	102, 10
16	23. — —	———	18, 8	+ 8, 1	125, 18
17	27. — —	———	19, 1	+ 4, 0	88, 76
18	30. — —	———	14, 8	+ 4, 3	127, 75
19	Col du Géant — Chamouny	1223, 12	21, 6	+ 4, 5	71, 32
20	Mont-Perdu — Barèges	1104, 09	25, 0	+ 6, 9	61, 06
21	Pic d'Euré — Tarbes	1101, 52	21, 3	+ 11,0	106, 71
22	Guanaxuato — Südmeer	1069, 20	25, 3	+ 21,3	* 267, 31
23	Pic de Montaigu — Tarbes	1053, 29	14, 5	+ 3, 1	92, 36
24	Pic de Bergou — Tarbes	1011, 30	19, 0	+ 13,5	* 167, 26
25	Pic du Midi — Barèges 30. Aug. 1805 .	849, 16	26, 7	+ 16,4	82, 61
26	15. Septbr. 1805	———	21, 9	+ 8, 0	61, 06
27	15. Aug. 1809 .	———	21, 3	+ 8, 2	65, 16
28	23. Septbr. 1809	———	18, 5	+ 6, 0	67, 73
29	19. Octbr. — .	———	15, 9	+ 2, 5	63, 11
30	11. Septbr. 1810	———	17, 8	+ 7, 0	78, 50
31	22. — — .	———	18, 9	+ 5, 8	64, 65
32	28. — — .	———	18, 4	+ 5, 2	64, 14
33	Puy de Dôme-Clermont 25. Juni 1806 .	546, 96	21, 3	+ 14,4	79, 02
34	11. Oct. 1807. 12u M.	———	17, 8	+ 10,8	77, 99
35	11. — — 1u Ab.	———	18, 6	+ 11,7	79, 02
36	29. Juni 1808 .	———	24, 8	+ 15,2	56, 95
37	7. Aug. — .	———	32, 9	+ 23,4	57, 47
38	Mounné du Bagnères — Tarbes . .	487, 42	10, 3	+ 9, 6	* 696, 26
39	Bédat du Bagnères — Tarbes . . .	287, 84	10, 9	+ 8, 0	99, 03
40	Pont du Berger — Clermont . . .	252, 43	0, 3	— 2, 9	79, 02
41	la Baraqque — Clermont	194, 97	23, 6	+ 21,8	108, 25
42	Prudelle — Clermont	147, 25	28, 3	+ 25,0	* 44, 64

Mittlere Höhenabnahme für 1°	4385, 77
Temperaturdifferenz	104, 42
mit Auslassung der mit einem Sternchen bezeichneten Angaben	84, 505

Digitized by Google

auf dem Aetna 26)	78^t
d'Aubuisson aus der Zusammenstellung verschiedener Beobachtungen im Mittel 27) .	75^t
v. Saussure in den Schweizeralpen	
a) im Sommer	82^t
b) im Winter	118^t
im Mittel	100^t
Pictet 28) aus den Beobachtungen zwischen Genf und dem St. Bernhard	105^t,1
Gay-Lussac über Paris	89^t
Wahlenberg 29) aus dreimonatlichen zu Ofen (79^t,5) und Kesmark in Ungarn (305^t Höhe)	45^t
(Dies stimmt mit dem oben für die Temperaturdifferenz zwischen Cumana und Cumanacoa Gesagten überein.)	
Dalton auf den Bergen von Nordengland zur Zeit, als die Erde ihren höchsten Grad von Erwärmung erreicht hatte 30)	68^t
Playfair, nicht aus eigenen Beobachtungen, sondern aus Vergleichung der von Anderen angestellten 31)	76^t
Atkinson aus einer sehr grossen Reihe von Beobachtungen 32)	60^t
Wells 33)	80^t

---

26) *Grundz. einer allgemeinen Pflanzengeographie* p. 450.

27) *Journal de Physique* LXXI. p. 37.

28) *Biblioth. univ.* X. p. 173. XIV. p. 19.

29) *Flora Carpathorum* p. XCIV.

30) *Memoirs of the litterary and philosophical Society of Manchester.* Vol. IV. p. 104.

31) *Outlines of Natural Philosophy.* Edinburgh 1814. Vol. I. p. 251. *Edinburgh Transactions* VI. p. 365.

32) *Journal of Science* VII. p. 180.

33) *Ueber den Thau*, übers. von Horner. Zürich 1821. p. 63.

Digitized by Google

Leop. v. Buch aus von ihm selbst in Norwegen von 60° — 70° n. Br. angestellten Beobachtungen 34) 93ᵗ

Scoresby in den Polargegenden auf Spitzbergen 35) 225ᵗ,2

Wenn daher aus den in England angestellten Beobachtungen von Dalton, aus den Angaben von Playfair und Atkinson hervorzugehen scheint, dass die Wärmeabnahme in der Atmosphäre vom Aequator nach den Polen zunehme, wie dies auch die übrigen Beobachtungen nachzuweisen scheinen, so stimmt dagegen das Mittel aus Leop. v. Buch's Beobachtungen mit Al. v. Humboldt's Resultate überein. Ueberdies fanden Capitain Parry und Lieutn. Georg Fischer auf ihrer Nordpolexpedition, als sie einen Drachen, an welchem sie ein Thermometer in horizontaler Lage angebracht hatten, steigen liessen, und dieser nach einer Erhebung von nahe 400′ über die Meeresfläche, ganz ruhig, ohne alle Erschütterung, wieder herabkam, dass das Thermometer oben denselben Stand hatte, wie unten 36). Die Herabsenkung des Drachens durch das wärmere Medium war wohl nicht im Stande, das Thermometer wieder zu erhöhen. Die Angabe, dass man im Allgemeinen in England 300′ Niveaudifferenz, also 50ᵗ auf einen

34) Gilbert's *Annalen* LXII. p. 317.

35) *Account of the arctic regions and the northern whalefishery.* Vol. I. p. 123.

36) *Journal of Science* nr. XII. p. 246. Baumgartner's und v. Ettinghausen's *Zeitschrift.* Bd. III. p. 475. *Bibliothèque universelle.* Tom. XXXVI. p. 121.

Digitized by Google

Grad Fahrenheit, und mithin 90^{t} auf 1° C rechnet [37]), stimmt ebenfalls mit Al. v. Humboldt's und Leop. v. Buch's Resultaten überein. Hierzu kommt endlich noch die von Scoresby auf Spitzbergen angestellte Beobachtung, so dass wir im Allgemeinen die Richtigkeit des obigen Satzes anerkennen können. Dasselbe ergeben die Berechnungen der Horizontalrefraktionen, obgleich diese im Grunde noch geringeren Werth haben, als die direkten Beobachtungen, indem es hierbei nicht sowohl auf die Wärmeabnahme in den niederen Regionen der Atmosphäre, als vielmehr auf die Gesammttemperatur des ganzen Luftkreises ankommt [38]). Da aber wenigstens einigen Einfluss auf die Horizontalrefraktionen die Quantität der Wärmeabnahme bis zur Schicht einer constanten Temperatur immer haben muss, so sind die aus denselben gefundenen Resultate nicht ganz zu übersehen. Laplace [38]) hat zu diesem Endzwecke passende Formeln angegeben, welche Matthieu [39]) auf die von Svanberg [40]),

---

37) *Biblioth. univers.* XXXVI. p. 120.

38) Bernh. v. Lindenau *Darstellung der Fortschritte der Astronomie im letzten Decennium.* (Aus v. Zach's *monatlicher Correspondenz* besonders abgedruckt.) Gotha 1811. 8vo. p. 154 folg.

39) Humboldt et Bonpland *Voyage.* Part. IV. Vol. I. p. 155. Introd. p. LXI.

40) *Exposition des opérations faites en Laponie pour la détermination d'un arc du méridien* en 1801 — 1803 par Messieurs Ofverbom, Svanberg, Hohnquist et Palander, rédigée par Svanberg p. 163. 164.

Digitized by Google

an verschiedenen Tagen, an denen die Temperaturdifferenz 16° betrug, angewandt und aus der einen 243m, aus der andern 243m,8 erhalten hat. Auch Schmidt [41]) hat das hierauf bezügliche Verfahren auseinandergesetzt. Bouguer's Refraktionen und die von Alex. v. Humboldt selbst beobachteten, zwar kleiner als jene, sind doch beide geringer als die Bradley'schen; dasselbe Resultat geben die von Maskelyne [42]) auf St. Helena beobachteten Sonnenuntergänge, und Vidal fand in Mirepoix für grosse Zenithdistanzen in gleichem Sinne merkwürdige Unterschiede mit der Tafel von Bradley. Noch sparsamer als im Süden sind gute Refraktionsbeobachtungen im Norden; doch geben hier Pozcobut's Beobachtungen in Wilna und die eben erwähnten von Svanberg in Lappland die Strahlenbrechung merklicher gross. Die Refraktionen für Mailand von Carlini sind bedeutender als die von Bradley. Eine Reihe greenwicher Zenithdistanzen des Sirius und Antares machen eine Differenz der Sommer- und Winterrefraktionen nicht unwahrscheinlich, und mehrere von Bernh. v. Lindenau beim Aufgange und Untergange beobachtete Sonnenhöhen gaben dasselbe Resultat. Indessen leugnen v. Zach, Delambre, Biot diesen Einfluss der Wärmeabnahme auf die Refraktion. Stellen wir

41) *Lehrb. der mathem. und phys. Geogr.* II. p. 318 folg.
42) *Nautical Almanac* 1830. p. 165.

Digitized by Google

aber Alles, was wir so eben angeführt haben, zusammen, so ergiebt sich, dass die Höhe, um welche man steigen muss, um einen Grad Temperaturdifferenz zu erhalten, bedeutender ist, wo und wenn eine geringere Temperatur herrscht, als da, und in den Zeitpunkten, wo das Thermometer einen höheren Temperaturgrad anzeigt.

III) Al. v. Humboldt [43]) bemerkte, dass auch der Boden, auf welchem die Luftschichten ruhen, einen bedeutenden Einfluss auf die Wärmeabnahme ausüben müsse, und Prechtl [44]) leitet hieraus hauptsächlich die Variation der Schneegränze unter gleichen geographischen Breiten her. Natürlich muss die Wärmeabnahme, nach den obigen Auseinandersetzungen, geringer sein über ausgedehnten Wasserflächen, Schneelagern u. s. w. als über langgestreckten Sandwüsten oder über heissen Flächen vulkanischen Sandes, wie z. B. über dem Jorullo, auf dem ein in den Boden eingesenktes Thermometer am Tage + 60° zeigte [45]). Dass sie geringer ist über dem Meere und an Küstenorten zeigen Bugge's Refraktionsbeobachtungen zu Kopen-

43) Gilbert's *Annal.* XXXI. p. 362.

44) Gilbert's *Annal.* LXXVI. p. 261.

45) Al. v. Humboldt *Voyage.* Part. IV. Vol. I. p. 327. *Essai sur la Géographie des Plantes* p. 130. *Essai politique sur le royaume de la nouvelle Espagne* p. 47. p. 248.

Digitized by Google

hagen [46]); dass sie bedeutender ist über den Sandwüsten Afrikas der Umstand, dass Dr. Oudney, von Murzuck in Fezzan aus reisend, mitten in Afrika in 13° n. Br., an den Gränzen von Bornu, zu Ende Decembers in einem Lande, das nicht 1200′ über den Meeresspiegel erhaben ist, wie es scheint, vor Kälte in der Nacht starb, in derselben Oase, wo Ritchie und Lyon wahrscheinlich wegen des in der Luft schwebenden, Wärme strahlenden Sandes, im Schatten 5 — 6′ über dem Boden, mehrere Sommermonate hindurch, das Thermometer um 5ᵘ Morgens zwischen 30° und 32°,5, Mittags zwischen 60° und 64° stehen sahen [47]).

IV) Prechtl [48]) hat auch aus den von Gay-Lussac angestellten Beobachtungen erwiesen, dass Luftströmungen einen bedeutenden Einfluss auf die Quantität und das Gesetz der Wärmeabnahme ausüben. Alex. v. Humboldt führt hiervon ein merkwürdiges Beispiel an [49]). Er fand auf dem Grunde der Mine de la Ragas bei Guanaxato (welches in 2084ᵐ,4 Höhe liegt) in einer Tiefe von 140ᵐ eine Wärmeabnahme, wie sie nur durch die vertikal herabsteigenden kalten Luftströme erzeugt werden konnte.

---

46) *Monatl. Correspondenz.* XXI. p. 185.

47) *Abhandl. der Berl. Akad. phys. Cl.* 1827. p. 301. Poggendorff's *Annalen* XI. p. 7, wo noch mehrere Beispiele angeführt sind.

48) Gilb. *Annal.* LXXVI. p. 263.

49) *Voyage* Part. IV. Vol. I. p. 325.

Digitized by Google

V) Alle Beobachtungen ergeben, dass die Wärmeabnahme, wenigstens für die uns erreichbaren Höhen, sehr nahe die Gesetze einer arithmetischen Reihe befolge, in der oben gegebenen, von E. Schmidt herrührenden Formel das zweite Glied also vernachlässigt werden könne. Schmidt zeigt, dass die Wärmeabnahme, wenn sie einzig durch die Absorption der Lichtstrahlen, als auch dann, wenn sie durch die Expansion der aufsteigenden wärmeren Luftmassen bedingt würde, den Gesetzen einer arithmetischen Progression folgen müsste [50]). Dasselbe fand als der Natur am gemässesten la Grange [51]); und v. Lindenau, der zwar nach dem Vorgange von Oriani [52]) und Laplace [53]) eine harmonische Progression annimmt, findet, dass sich dieselbe äusserst wenig von einer arithmetischen Reihe entferne, indem, wenn man mit t die Temperatur an der unteren Station, mit t' die an der oberen, mit ϑ die einer gewissen Höhe entsprechende Temperaturdifferenz ausdrückt, letztere bezeichnet würde durch die Formel [54]):

$$\vartheta = \tfrac{1}{2}\,(t + t') - 0{,}000004\,(t - t')$$

---

50) *Lehrb. der mathem. und phys. Geogr.* II. p. 302.

51) *Mémoires de l'Acad. de Berlin.* 1772. p. 206.

52) *Effemeridi astronomiche di Milano* 1788. p. 218. *Allg. geogr. Eph.* von Zach. I. p. 696.

53) *Mécanique céleste.* Tom. IV. p. 262.

54) *Tables barométriques.* Leipz. 1809. 8vo. *Monatl. Correspodenz.* XXI. p. 101.

Digitized by Google

Euler dagegen [55]) nahm eine geometrische Reihe an, indem er für die Höhe h die Gleichung aufstellte:

$$h = f \left\{ \frac{t - t'}{1 + t} \right\}$$

welche Oltmanns auf das Quecksilberthermometer reducirte [56]) und so aus den obigen angeführten Beobachtungen Alex. v. Humboldt's fand, dass das Verhältniss 1 : f den nachstehenden Grössen entspräche:

Beobachtungsörter	1 : f
Pic von Teneriffa .	0,000036563
Nevado de Toluca .	0,000039633
Silla de Caracas .	0,000035506
Pichincha	0,000036579
Fuerte de la Cuchilla	0,000038344
Chimborazo . . .	0,000035447

woraus sich eine ziemlich gute Uebereinstimmung, aber auch nur mit diesen, zwischen den Wendekreisen angestellten Beobachtungen ergiebt. Lambert [57]) nahm aus theoretischen Gründen, indem er aber bloss die Wärmestrahlung berücksichtigte, an, dass, wenn die Höhen in einer geometrischen Progression fortschreiten, die Temperaturen in einer arithmetischen abnähmen. Ihm ist G. G. Schmidt gefolgt [58]).

Nachdem wir so von den uns bekannten

55) *Mémoires de l'Acad. de Berlin* 1754. p. 140.
56) Gilb. *Annal.* XXXI. p. 387.
57) *Pyrometrie* p. 232.
58) Gilb. *Annal.* LXII. p. 312. folg.

Digitized by Google

Beobachtungen diejenigen, welche uns die meiste Berücksichtigung zu verdienen scheinen, aufgeführt und die daraus hervorgehenden Resultate mitgetheilt haben, gehen wir zu der Untersuchung über, in wiefern die vierte der oben angeführten Ursachen, die Erhebung erwärmter und dadurch specifisch leichter gewordener Luftmassen zu den grösseren Höhen der Atmosphäre, einen Einfluss auf die Abnahme der Temperatur im Luftkreise ausüben könne. Indem dieselben in grösseren Höhen eine Druckverminderung erleiden, dehnen sie sich aus und binden dadurch eine Quantität Wärme. Es sind von verschiedenen Physikern verschiedene Versuche angestellt worden, um die Quantität der bei einer Vermehrung des Volumens einer Luftmasse freiwerdenden Wärme und der, welche bei einer Verminderung desselben frei wird, zu bestimmen. Die Namen der Männer, von denen sie angestellt sind, sollten, wenigstens der grösseren Anzahl nach, Bürgen für ihre Genauigkeit sein: aber dennoch weichen die von ihnen gefundenen Resultate sehr bedeutend von einander ab, wovon die verschiedenen, theils genaueren, theils unzulänglicheren, Methoden, deren sie sich bedient haben, die Ursache sind. Wir wollen hier annehmen, dass die bei der Kompression frei werdende Wärme dem Drucke oder der Dichtigkeit proportional sei, wobei wir uns gewiss sehr wenig von der Wahrheit entfernen werden, und finden so nach den verschiedenen Versuchen:

Digitized by Google

Beobachter	Verminderung des Volumens, um 1° Temperatur hervorzubringen, oder Vermehrung desselben, um 1° Wärme zu binden. = x
Robison	0, 13159
Southern	0, 03376
Gay-Lussac 59) . . .	0, 10000
Dalton 60)	0, 01785
de la Rive u. Marcet 61)	0, 08333
Clément u. Désormes 62)	0, 013538
Poisson 63) . . . . . (Berechnung der zuletzt erwähnten Versuche.)	0, 01025
Gay-Lussac 64) . . . (spätere Angabe.)	0, 00320
Gay-Lussac u. Welter 65)	0, 010388
Biot 66) . . . . . (Hypothese zur Erklärung der Geschwindigkeit des Schalls.)	0, 00862
de la Roche u. Bérard 67)	0, 010405
Prechtl 68)	0, 017200
Leslie 69) . . . . . (Berechnung der ihm bekannten Versuche.)	0, 013333

59) *Mémoires d'Arcueil* I. p. 180. Gilb. *Annal.* XXX. p. 258.

60) Gilb. *Annal.* XIV. p. 101. *Memoirs of the litterary and philosophical Society of Manchester.* Vol. V. Part. 2. p. 525. Dalton *System des chemischen Theils der Naturwissenschaften*, übers. von Wolff. Berlin 1811. Th. I. p. 9. 144.

61) *Bibliothèque universelle.* XXII. p. 275. *Annales de Chim. et de Phys.* XXIII. p. 209.

62) *Journal de Phys.* LXXXIX. p. 331.

63) *Annales de Chim. et de Phys.* XXII. p. 5.

64) *Annales de Chim. et de Phys.* IX. p. 305.

65) Laplace *Mécanique céleste.* V. p. 125.

66) *Traité de physique expérimentale et mathématique.* Vol. II. p. 21.

67) Laplace a. a. O.

68) *Jahrbücher des polytechnischen Institutes in Wien.* III p. 1. Gilb. *Annal.* LXXVI. p. 249.

69) *Annals of Philosophy.* XIV. p. 26.

Digitized by Google

Bezeichnet nian nun mit n eine n-fache Verdünnung der Luft, so lässt sich hiernach der Einfluss auf die Temperaturabnahme nach dem oben angenommenen Gesetze berechnen. Es wird nämlich die gebundene Wärme $= \frac{n}{x}$ sein. Bei den Beobachtungen von Gay-Lussac war nahe $n = 2$, man erhält also nach:

Beobachter	Wärmedifferenz	Beobachter	Wärmedifferenz
Robison .	15,19	Gay-Lussac	625,00
Southern .	59,24	Gay-Lussac	
Gay-Lussac	20,00	u. Welter	193,01
Dalton .	112,04	Biot . .	232,01
de la Rive	24,00	de la Roche	192,21
Clément .	147,73	Prechtl .	116,27
Poisson .	195,12	Leslie . .	150,00

Gay-Lussac aber fand an der Erdoberfläche eine Temperatur von 30°,8, in der grössten Höhe dagegen, wo der Barometerstand nur 0,432 des an der Erde beobachteten betrug, also etwa 0,5, wenn man ihn wegen der Ausdehnung des Quecksilbers corrigirt, einen Thermometerstand von — 9°,5, mithin eine Differenz von 40°,3. Man sieht demnach, wie sehr alle auf diesem Wege gefundenen Temperaturdifferenzen von dem durch Beobachtung gefundenen Resultate abweichen. Die Differenzen werden aber bedeutend kleiner, wenn man mit Prechtl annimmt, dass, wenn h u. h′ die Barometerstände, t und t′ die Thermometerstände bezeichnen,

Digitized by Google

$\frac{h-h'}{h} = x\,(t-t')$ oder $t' = t - \frac{h-h'}{x \cdot h}$

sei. Alsdann erhält man mit Muncke [70]):

		Differenz
nach Clément u. Désormes	48°,7	+ 8°,4
— Gay-Lussac u. Welter	48,1	+ 7,8
— de la Roche u. Bérard	48,0	+ 7,7
— Prechtl	29,1	— 11,2
— Leslie	38,0	— 2,3
und als Mittel aus den vier ersten Angaben: . .	41°,4	+ 1°,1

Obgleich die einzelnen Angaben noch zu sehr von der Wahrheit abweichen, so würden wir doch bei dieser Annäherung stehen bleiben können, wenn nicht Poisson gezeigt hätte, dass die Menge der bei Kompression frei werdenden und bei Verdünnung gefundenen Wärme eine bestimmte Relation zu der anfänglichen Temperatur der Luftmasse hätte. Er fand sie ausgedrückt durch die Gleichung [71]):

$$t' = (266°,67 + t)\left(\frac{\varrho'}{\varrho}\right)^{k-1} - 266°,67$$

wo ϱ, ϱ' die anfängliche und die nachherige Dichtigkeit, k den Ausdehnungscoëfficienten bezeichnet. Hiernach findet man $t' = 66°,84$, so dass, wenn die Luftschichten aus der Höhe, wo sie die Dichtigkeit $\varrho' = 2\varrho$ haben, zur Erde

70) Gehler's *phys. Wörterb.* III, 2. p. 1045.
71) Gilbert's *Annal.* LXXVI. p. 269.

Digitized by Google

herabsänken und comprimirt würden, sie eine um 36° höhere Temperatur zeigen würden, als Gay-Lussac in der That an der Erdoberfläche beobachtete. Auch aus Ivory's gehaltvollen analytischen Untersuchungen geht ein ähnliches Resultat hervor, wie dies Muncke gezeigt hat. Wir wollen uns, da die ausführliche Darstellung dieser Untersuchungen in Gehler's phys. Wörterbuch nachgesehen werden kann [72]), darauf beschränken, einige dort nicht mitgetheilte Bemerkungen von Plana [73]) anzuführen, ohne den ganzen Gang seiner Untersuchungen über die Dichtigkeiten der Luft in höheren Regionen anzuführen. Hat man eine Luftmasse von der Temperatur t und dem Normaldrucke $0^m,76$, so denke man sich dieselbe plötzlich bis zu einer Höhe emporgehoben, in welcher die Temperatur t' und der Druck h sei. Nimmt man die dem Drucke $0^m,76$ entsprechende specifische Wärme als Einheit an und bezeichnet mit c die dem Drucke h entsprechende, so hat man nach der von Navier [74]) aufgestellten empirischen Formel:

$$c = 0^m,76 \sqrt{\tfrac{1}{h} + 0{,}41552} \quad \ldots \quad \text{(I.)}$$

---

72) *Ivory on the astronomical refraction.* London 1823. 4to. besonders abgedruckt aus *Philosophic. Transact.* 1823.

73) Plana *Recherches analytiques sur la densité des couches de l'Atmosphère et la théorie des réfractions astronomiques.* Turin. 1823. 4to. aus *Memorie della reale accademia di Torino.* Tom. XXVII.

74) *Annales de Chim. et de Phys.* XVII. p. 377.

Digitized by Google

Gay-Lussac [75]) sagt, dass bei einer Kompression zu $\frac{1}{7}$ des früheren Volumens man Feuerschwamm entzünden könne, der sich auf schmelzendem Blei, nicht aber auf Wismuth, also bei einer zwischen 323° und 283° mitten inne liegenden Temperatur entzündet, d. h. wenigstens bei 300°. Setzt man also $h = 5 \times 0^m,76 = 3^m,8$, so erhält man:

$$c = 0,62610.$$

Nennt man nun die bei dem Drucke frei werdende Wärme T, so kann man hier mehrere Hypothesen über die zwischen ihr und der specifischen Wärme bestehende Relation aufstellen. Zuvörderst setze man sie einmal der Differenz der specifischen Wärmegrade proportional, also:

$$(1 - c)\, x = T$$

wo x ein zu bestimmender Coëfficient ist. Für $T = 300$ hatte man $1 - c = 0,3739$, also $x = 802°,36$; und so erhält man:

$$T = 802°,36\,\{1 - c\}$$
$$= 802°,36\,\{1 - 0,76\sqrt{\tfrac{1}{h} + 0,41552}\} \quad . . \text{ (II.)}$$

Die bei der Kompression frei werdende Wärme erhält hiernach ihre Gränze bei 409°; denn setzt man $h = \infty$, so erhält man $T = 802,36 \times 0,5101 = 409°$; die bei der Verdünnung dagegen gebunden wird, hat keine Gränze: denn wenn man $h - 0$ setzt, so wird $T = -\infty$. Berechnen wir noch die Beobachtung von Gay-Lus-

75) *Annales de Chim. et de Phys.* IX. p. 308.

Digitized by Google

sac bei seiner Luftfahrt über Paris, so fand er statt eines Druckes von $0^m,76$ an der Erdoberfläche $0^m,76568$. Nehmen wir jedoch ersteren an und erhöhen dafür $h = 0^m,32880$ auf $0^m,38$, indem wir auch auf die Korrektion wegen der Temperatur Rücksicht nehmen, so erhalten wir $c = 1°,326656$. Mithin nach der Gleichung II: $T = -262°,09$. Da nun an der Erdoberfläche eine Temperatur von $+ 30°,75$ herrschte, so hätte sich in der oberen Region eine Temperatur von $-292°,84$ vorfinden müssen. Hierbei ist aber der Schmelzpunkt des Bleis zu hoch angenommen worden. Henry und Thénard fanden ihn bei einer Temperatur von 263°, Biot bei 260°. Nimmt man 250° an, so erhält man: $x = 668°,62$, also für die Beobachtung von Gay-Lussac: $T = -218°,41$. Es hätte also die Temperatur der Luft, bei einem Barometerstande von $0^m,38$, $-249°,16$ sein müssen. Clément und Désormes haben jedoch gegen diese Methode gegründete Zweifel erhoben, indem die Entzündung des Schwammes in einer an Sauerstoff reicheren Luft nothwendig in einer geringeren Temperatur geschehen müsse als in der Atmosphäre. Wir müssen also von einer anderen Voraussetzung ausgehen. Nimmt man an, dass bei einer Kompression der Luft um $\frac{1}{110}$ ihres Volumens 1° Wärme frei wird, und setzt also $h = 0,76\{1 + \frac{1}{110}\}$ so hat man:

$$c = 0,99675$$

und wenn man also die Gleichung annimmt

$(1 - 0{,}99675)\ x = 1°$, so erhält man $x = 307°{,}69$. Für die Verdünnung auf die Hälfte des Volumens bekommt man mithin, da $c = 1{,}326656$, aus:

$$(1 - c)\ x = T$$

$T = -100°{,}51$, also eine Temperatur in der von Gay-Lussac erreichten Höhe von $-131°{,}26$, ein bedeutend geringeres Resultat als oben. Vielleicht aber ist die Hypothese $(1-c)\ x = T$ nicht der Natur gemäss; Plana nimmt daher an:

$$d\,T = x \,.\, \frac{d\,c}{c}$$

woraus durch Integration, da für $c = 1$, $T = c$ ist, folgt:

$$T = -x \log \text{hyp } c.$$

Setzt man hier $T = 1°$, $c = 0{,}99675$, so erhält man:

$$x = -\frac{1°.m}{\log c}$$

wo m den Modulus des Briggischen Systems bedeutet, also:

$$\log \text{vulg } c = 0{,}9985862 - 1$$
$$= 0{,}0014138$$
$$m = 0{,}4342945$$

$$x = \frac{4342945}{14138} = 307°{,}18$$

Für $h = 0^m{,}38$ erhält man nun nach Navier's Formel: $c = 1{,}326656$, also:

$$T = 86°{,}83$$

also in der Höhe, wo das Barometer auf $0^m{,}38$ stand, $t = -117°{,}58$. Statt der von Navier

Digitized by Google

angegebenen empirischen Formel hat Avogrado ein theoretisches Verfahren angegeben. Er setzt: $-\frac{dc}{c} = \beta . \frac{dh}{h}$, woraus man durch Integration erhält:

$$\log c = -\beta . \left(\frac{h}{0^m,76}\right).$$

Setzt man nun mit de la Roche und Bérard $\frac{h}{0^m,76} = 1,35827$, $c = 0,91263$, so erhält man $\beta = 0,29856$, mithin:

$$\log c = -0,29856 \log \left(\frac{h}{0^m,76}\right)$$

welche nur unbedeutende Differenzen mit der von Navier aufgestellten Formel ergiebt. Man sieht, dass alle diese Berechnungen den direkten Erfahrungen widersprechen. Die kalte, dichtere Luft, welche, von den hohen Gebirgen herabstürzend, die wärmere in der Ebene befindliche verdrängt, müsste durch die grosse Kompression einen fast unerträglichen Hitzegrad mit sich bringen, während doch geradezu das Gegentheil Statt findet; dasselbe müsste bei den Schneelawinen in den Alpen der Fall sein, was die Erfahrungen aber unmittelbar widerlegen. Und die aus der Ebene aufsteigenden Winde müssten auf der Höhe der Berge einen äusserst niedrigen Temperaturgrad mit sich führen, wogegen sie doch, aller Erfahrung nach, gerade eine höhere Temperatur, besonders zu steilen Gipfeln, emporführen, wie dies auch die Vege-

Digitized by Google

tation an den Abhängen derselben bezeugt. Wir sehen also, dass keine der Ursachen, welche Al. v. Humboldt zur Erklärung der Erscheinung, dass die Wärme in der Höhe unserer Atmosphäre abnimmt, aufgestellt hat, und die von allen Physikern nach ihm angenommen worden sind, hinreiche, das Phänomen zu erklären. Man könnte vielleicht sagen, dass die eine Ursache die andere kompensire, und dass durch die Gesammtwirkung aller die Erscheinung hervorgerufen werde, wie sie uns die Beobachtungen ergeben: aber auch dann trifft man auf zahlreiche Widersprüche, unter denen die zuletzt angeführten gerade nicht am leichtesten sich aus dem Wege räumen lassen. Man sieht sich also genöthigt, zu anderen Ursachen seine Zuflucht zu nehmen: und so will ich denn hier zuletzt die Ansicht von Muncke über die Gründe dieser Erscheinung mittheilen, ohne ihr gerade beizupflichten, damit doch der neuste Versuch, das Phänomen zu erklären, nicht übergangen werde. Er denkt sich die Erde als einen mit einer eigenthümlichen Wärmeatmosphäre begabten Körper, oder, mit anderen Worten, die ursprünglich heisse Erde ist bis auf den gegenwärtigen Zustand erkaltet und muss in ihrem Zustande verharren, weil keine Bedingungen ihres weiteren Erkaltens vorhanden sind. „Indem nämlich eine erhitzte Kugel," so fährt er fort, „so viel langsamer erkaltet, je weniger leitend das sie umgebende Medium ist, so muss die Erde, welche

Digitized by Google

im absolut leeren Raume schwebt [76]), gar nicht erkalten. Bei jedem erwärmten, mit Hervorragungen und Spitzen versehenen Körper verlieren aber die letzteren die Wärme am schnellsten, weil ihre Anziehung gegen dieselbe am geringsten ist, und so muss also die nach gleichen Gesetzen an die Erde gebundene Calorisphäre an den Bergspitzen die geringste Intensität haben. Hiernach nimmt mithin die Temperatur bei zunehmender Höhe über flachen Ebenen am langsamsten, über ausgedehnten Bergebenen, sofern sie gegen die Masse der Erde nur grössere Hervorragungen, gleichsam stumpfere Spitzen sind, schneller, auf Bergspitzen dagegen am schnellsten ab, und letztere können auch durch mancherlei günstige Bedingungen der Erwärmung nicht bleibend auf einer höhern Temperatur erhalten werden, weil die Calorisphäre der Erde

---

76) Dies könnte indessen nach den Untersuchungen von Schubert (Bode's *astronom. Jahrb.* 1802. p. 165.), Encke (ebendas. 1826. p. 124.), Brandes (Gilb. *Annal.* XLVIII. p. 117. Gehler's *phys. Wörterb.* N. Ausg. I, p. 275.) über den Widerstand, den die Weltkörper bei ihrer Bewegung im Raume durch den Aether erleiden, über die Gestalt der Kometenschweife, und denen von Olbers über die Schwächung des Lichtes, welche dasselbe während seiner Fortpflanzung durch den Himmelsraum erleidet (Bode's *Jahrbuch* 1826. p. 110.), zweifelhaft erscheinen. Man vergleiche nächst dem, was Laplace (*Mécanique céleste* IV. p. 313. *Mémoires de l'académie des sciences à Paris* 1772. p. 370.) bemerkt hat, dasjenige, was schon früher Newton (*princip. philos. natural.* libr. II. prop. 10.) und Euler (*Opuscula* p. 245) gesagt haben.

Digitized by Google

sich mit der letzteren, als ebenes Sphäroid gedacht, stets in einem gewissen Gleichgewichte erhält. Ob endlich diese Calorisphäre gewissen Schwankungen ausgesetzt sein mag, woraus manche räthselhafte Wechsel der Wärme und Kälte verschiedener Gegenden in einzelnen Jahren erklärt werden könnten, mag unentschieden bleiben."

VI.

Da also wenigstens das feststeht, dass die Temperatur der Atmosphäre, gleich viel nach welchem Gesetze, mit der Höhe abnimmt, so müssen wir auf Bergen, deren Gipfel weit genug von der Erdoberfläche absteht, zu einer Region gelangen, wo die mittlere Temperatur = 0 wird. Es wird hierzu in nördlichen Breiten offenbar einer geringeren Erhebung bedürfen, als in den Aequinoktialgegenden. Hier wird man, da die Oscillationen um die mittlere Temperatur nicht mehr bedeutend sein können, Schnee und Eis finden, welches nie mehr aufthaut, eine Region antreffen, in der alle Dünste nur in fester Form niedergeschlagen werden. Diesen Gränzpunkt, wo mit einer einzigen bis jetzt bekannten Ausnahme keine Spur von vegetativem und animalischem Leben mehr gefunden wird, bezeichnet man mit dem Namen der Schneegränze. Wenn man zu Ende des Sommers,

Digitized by Google

wo der Erdboden am meisten durchwärmt ist, die Alpen aus einer gewissen Entfernung, z. B. von der Höhe des Jura-Gebirges aus, betrachtet, so erblickt man einen glänzenden Schneegürtel, welcher den oberen Theil des Alpengebirges zu umgeben scheint. Der untere Theil des Gürtels bildet eine gerade, wagerechte Linie. Man nennt sie die Schneelinie, die Schneegränze, die Gränze des ewigen Schnees. In dem Maasse aber, als man sich dem Gebirge mehr und mehr nähert, verschwindet das Regelmässige dieser Linie oder des unteren Randes jenes Schneegürtels; man bemerkt einzelne Punkte, wo Schnee und Eis weit unter diese Linie hinabsteigen, und andere dagegen, wo sie solche nicht erreichen. Dennoch betrachtet man im Allgemeinen diese Linie, so wie sie aus weiter Ferne erscheint, als die mittlere Gränze des ewigen Schnees. Bevor wir das mittheilen, was uns bis jetzt Gesetzmässiges über dies, vielleicht complicirteste, Phänomen der ganzen physikalischen Erdbeschreibung bekannt ist, wollen wir die an einzelnen Gebirgen der Erdoberfläche angestellten Beobachtungen aufzählen, welche mit der grössten Vollständigkeit bis jetzt Hällström [77]) gesammelt hat, wozu wir nur weniges hinzuzufügen im Stande sind:

---

77) *De termino atmosphaerae terrestris nivali.* Praes. Hällström, auctore Alzenius. Aboae 1823. 4to.

Digitized by Google

Beobachtungsorte	Breite	Höhe in par. Fuss	Beobachter
Anden unter dem Aequator	0°	14820′	la Condamine [78])
		13986	don Ulloa [79])
Cotopaxi	1° 28′ s. Br.	15228	Al. v. Humboldt [80])
Antisana		14958	
Chimboraço	0° n. Br.	14826	
Rucu - Pichincha		14760	
Nevado del Corazon		14748	
Pichincha . . .	0° 0′	14604	Bouguer [81])
Quito	0 0	14760	Al. v. Humboldt [82])
Popayan	0 3 n.	14580	Al. v. Humboldt [83])
Volcano du Puracé	2 17	14484	Al. v. Humboldt
Paramo de Guancos	2 40	14280	. . . . .
Popocatepetel . .	18 59	14052	Al. v. Humboldt [84])
Mexico	19 0	14100	Al. v. Humboldt [85])
Iztaccihuatl . . .	19 10	14130	Alzate [86])
Nevado de Toluca	19 11	13776	Al. v. Humboldt [87])
Mexico	20 0	14166	Al. v. Humboldt [88])
Mexico Toluce .	20 0	14100	Al. v. Humboldt [89])
Himalaya s. Abh.	30 0	11400	Webb [90])
Himalaya n. Abh.	31 0	15660	Webb
Atlas	31 0	11550	Ali-Bey [91])

78) *Voyage à l'Equateur* p. 35. 48. Paris 1751.
79) Don Ulloa y Don Jeorge Juan *Relation del viage* Tom. II. p. 568.
80) *Annales de Chimie et de Physique.* Tom. XIV. p. 32.
81) *Figure de la terre.* Paris 1749. p. L. XLVI.
82) *Essai sur la Géographie des Plantes.* Paris 1807. p. 132.
83) *Atlas géographique et physique des régions équinoxiales.* Paris 1814. Table VI.
84) *Annales de Chim. et de Phys.* Tom. XIV. p. 42—44.
85) *Essai politique sur le royaume de la Nouvelle Espagne* p. 45. éd. en 4to.
86) *Gazeta de literat. de Mexico* 1789. p. 54.
87) *Recueil d'observations astronomiques.* Paris 1810. Vol. I. p. 329.
88) *Essai sur la Géogr. des Plantes* p. 133.
89) *Prolegomena de distributione geogr. plantar.* p. 139. Gilb. *Annal.* Bd. XXV. p. 320.
90) *Quarterly Review* nr. XLIV. p. 415—430. *Quarterly Journal of Literature and Science.* VII. p. 38.
91) G. Borg Praes. Hällström *de termin. atmosph. terrae nivali.* Aboae 1823.

Digitized by Google

Beobachtungsorte	Breite	Höhe der Schnēgränze in par F.	Beobachter
Libanon	33° 0′	9102	Wahlenberg [92])
SierraNevado deGran	37 10	10680	Al. v. Humboldt [93])
Aetna	37 33	10488	Schouw [94])
		9900	H. de Saussure [95])
Neu-Mexico . .	38 30	9180	Edwin James [96])
Pic du Midi . .	42 0	9036	Ramond [97])
Canigon	42 31	8718	Saussure [98])
Pyrenäen . . .	42 45	8400	Al. v. Humboldt [99])
Maladetta Nords. .	. . .	8256	Parrot [100])
—— Süds. .	. . .	9380	Parrot [1])
Pic Long	43 0	8760	Ramond [2])
Neuville	. . .	8250	
Mont Perdu	43 0	8100	Wahlenberg [3])
		7881	Parrot [4])
Kasbek	43 0	11084	Engelhardt u. Parrot [5])
Elburs	43 0	9882	Parrot [6])
Apenninen . . .	42—43	8934	Schouw [7])
Pyrenäen . . .	45 0	7692	Al. v. Humboldt [8])
Alpen	45 30	8520	Leop. v. Buch [9])
Alpen	45 30	8100	Saussure [10])
Alpen	46 0	8220	Al. v. Humboldt [11])
Alpen	46 0	8220	Wahlenberg [12])

92) Ebendas. — 93) Schouw *Pflanzengeographie* p. 454.
94) Schouw a. a. O. — 95) *Voyages aux Alpes.* Tom. IV. p. 150.
96) Al. v. Humboldt *Voyage aux régions équinoxiales.* Tom. X. p. 97.
97) *Annales de Chimie et de Physique.* II. p. 192.
98) *Voyages.* Tom. IV. p. 150.
99) *Prolegomena de distribut. geogr. plantar.* p. 122.
100) *Naturwissenschaftl. Abhandl. aus Dorpat.* I. p. 273.
1) Ebendas. p. 297.
2) *Annales de Chim. et de Phys.* II. p. 192. XIV. p. 26.
3) *Bericht über Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der lappländischen Alpen;* übers. von Hausmann. Göttingen 1812. p. 59.
4) *Naturwissenschaftl. Abhandl. aus Dorpat.* I. p. 228.
5) *Reise in die Krym und den Kaukasus.* Berlin 1815. I. p. 208.
6) *Physik der Erde* p. 174. — 7) a. a. O. p. 454.
8) *Prolegomena* p. 122. — 9) Gilb. *Annal.* Bd. XI. p. 48.
10) *Voyages.* Tom. IV. p. 154. Mittel aus mehreren Beobachtungen.
11) *Annales de Chim. et de Phys.* XIV. p. 43.
12) *De vegetatione Helvetiae* p. XLIV.

Digitized by Google

Beobachtungsorte	Breite	Höhe	Beobachter
Karpathen . . .	49° 0′	7998	Wahlenberg [13])
Karpathen . . .	49 10	7980	Al. v. Humboldt [14])
Norwegen . . .	60 0	4800	Leop. v. Buch [15])
Norwegen . . .	61 0	5100	Chr. Smith [16])
Suletind	61 0	5220	Leop. v. Buch [15])
Schnöhätta . . .	62 0	5600	Wahlenberg [17])
Norwegen . . .	62 0	5400	Leop. v. Buch [18])
Eliasberg in Amerika	62 0	4600	Wahlenberg [19])
Svuckustöt, Norwegen	62 12	5250	Hisinger [20])
Norwegen . . .	62 30	4860	Leop. v. Buch [21])
Syltopp	63 0	4950	Hisinger [22])
Areskuta	63 26	4740	
——	——	4440	Hartmann [23])
Island	64 0	2580	Mörck [24])
Island	65 0	2896	Olafsen [25])
Schweden . . .	66 30	4014	Leop. v. Buch [26])
Sulitelma . . .	67 5	3100	Wahlenberg [27])
Valli in Schweden	67 6	4100	
Talpa jegna Norwegen	67 20	3000	
Alten	70 0	3300	Leop. v. Buch [28])
Hammerfest . . .	70 38	2502	
Nordkap	71 0	2202	

13) *Flora Carpathor. princip.* Göttingen 1814. p. LXXIII.

14) *Annales de Chim. et de Phys.* XIV. p. 43.

15) Gilb. *Annalen.* XI. p. 11.

16) bei Schouw a. a. O.

17) *Bericht über Messungen* u. s. w. p. 58.

18) Gilb. *Annal.* LV. p. 319. LXI. p. 373.

19) *Bericht* p. 57.

20) *Anteckningar i Physik och Geognosie under resar i Sverige och Norrige.* Upsala 1819. N. I. p. 2. N. II. p. 45.

21) Gilb. *Annal.* XI. p. 43. — 22) a. a. O.

23) *Wetenskaps Akademiens Handlingar.* 1814. p. 107. 1818. p. 131.

24) bei Schouw in *Tidsskrift for Naturvidenskaberne.* 1822. Heft I. p. 86.

25) Gilb. *Annal.* XI. p. 37. XXIV. p. 319.

26) Gilb. a. a. O. — 27) *Bericht* u. s. w. p. 26. 36. 48.

28) Gilb. *Annal.* XI. p. 27. 32.

Digitized by Google

Aus allen bisher angestellten Beobachtungen ergeben sich nun folgende Resultate:

I) Die Curve des ewigen Schnees ist keine isotherme Linie: sie zeigt weder die Temperatur des schmelzenden Eises an, wie man früher mit Kirwan [29]) annahm, noch sonst irgend eine Luftschicht von constanter mittlerer Temperatur. Diese mittlere Temperatur ist auf dem Chimboraço in der Region, in welcher der ewige Schnee beginnt, + 1°,5 [30]), auf dem St. Gotthard nach Pictet [31]) — 4°,6, unter dem Polarkreise — 6°. Die Schneegränze folgt minder den isothermen Linien der Ebene, als den Krümmungen der Isotheren; sie hängt von der Vertheilung der Wärme durch die verschiedenen Monate, von der Dauer und geringeren oder höheren Temperatur des Sommers, von der Anzahl der Monate ab, deren mittlere Temperatur 4° oder 5° übersteigt. Wenn alle mit ewigem Schnee bedeckten Gebirge, anstatt unter einander zu fortlaufenden Ketten vereinigt, oder von geringeren oder ausgedehnteren Hochebenen begränzt zu sein, aus isolirten kegelförmigen Bergen von gleichem Umfange bestünden, so wäre es sehr wahrscheinlich, dass die Schneegränze unter verschiedenen Meridianen gleiche Höhe über eine isothere Linie

29) *On the variations of the Atmosphere.* Dublin 1801. Chap. III. §. 1.

30) *Annales de Chim. et de Phys.* XIV. p. 19.

31) Gilbert's *Annalen.* XXV. p. 318.

Digitized by Google

haben würde, die man im Niveau des Meeres auf der Erdoberfläche zöge. Unter dieser Voraussetzung könnte die Höhe der Schneelinie dazu dienen, die mittlere Temperatur des Sommers in der Ebene in verschiedenen Breitegraden zu bestimmen [32]). Da nun die Isothermen im Innern grosser Kontinente gemeiniglich convexe Gipfel haben, und daselbst besonders die mittlere Wärme der Sommer grösser ist, als man es der Breite nach erwarten sollte: so geht daraus hervor, dass, wegen der sommerlichen Erwärmung der Ebenen, der ewige Schnee im Innern der Kontinente erst in einer grösseren Höhe anfangen werde, als an den Küsten und auf denjenigen Festlanden, welche weniger Masse und Ausdehnung haben [33]). Mag also immerhin das Thermometer in Sibirien Kältegrade und Wintertemperaturen anzeigen, wie sie auf dem übrigen Kontinente nicht bekannt sind; mag die mittlere Temperatur von Jakutzk bis 3° unter den Gefrierpunkt hinabsinken, so beweisen doch die Bäume, dass dort die Schneegränze noch höher liegt, als über Alten in Finmarken, höher vielleicht, als über Torneå weglaufen müsse. Selbst auf Nova-Zembla in 75° n. Br. erreicht die Schneegränze noch nicht das Meeresniveau; Lud-

32) Humboldt *Essai sur la Géographie des plantes* p. 132. *Annales de Chimie et de Phys.* XIV. p. 20.

33) Leop. v. Buch *Reise durch Norwegen und Lappland.* II. p. 393. *Annales de Chim. et de Phys.* II. p. 183. XIV. p. 20.

Digitized by Google

loff erblickte hohe Granitberge, welche nur bis zur Hälfte mit ewigem Schnee und Eise bedeckt waren [34]). Aber was kann man von Island erwarten, wenn auch seine Bewohner den Winter in ihren Wohnungen ohne Feuerung aushalten können, wenn hier unter 65° n. Br. die Schneegränze schon in 2900 Fuss Höhe sich findet [35])? Die Ausdehnung der Ebenen im nördlichen Asien zwischen dem Himalaya und dem Altai [36]), die Krümmung der isotheren Linien gegen Norden [37]) sind auch unbedingt die Ursache, weshalb auf dem nördlichen Abhange des Himalaya die Schneegränze erst in bedeutend grösserer Höhe anfängt, als auf dem südlichen, während sonst in unserer nördlichen Halbkugel gerade das Gegentheil Statt findet und Statt finden muss. Anderer Seits

34) Gilb. *Annal.* LXII. p. 69.

35) Gilbert's *Annalen.* XLI. p. 33.

36) Link *Handbuch der physikal. Erdbeschreibung.* Berlin 1826. Th. I. p. 167: „Zwischen dem Himalaya im Süden, dem Belur-Tag im Westen, und dem Kentaisse im Osten liegt Gross- und Klein-Tibet, der Anfang jener grossen Ebene. Wir haben wenig Nachrichten von diesem Lande; alle kommen darin überein, dass es eine hohe, verflächte Berggegend sei, in welcher man viele nicht sehr über die Fläche erhabene Berge sieht. Von der Höhe zeugt die Kälte. Als Turner auf seiner Gesandtschaftsreise in Tischulumbu war, fror es jede Nacht im November, und vom 10. November an waren alle Seen unter 29° 20′ n. Br. mit Eis belegt, und Bogle fand sie noch im April unter 31° 39′ n. Br. gefroren."

37) Al. v. Humboldt *Prolegomena de distributione geographica plantar.* p. 124. *Annales de Chim. et de Phys.* XIV. p. 23.

Digitized by Google

muss die Anhäufung mehrerer mit Schnee bedeckter Gipfel, der Umfang und die Masse derselben die Schneegränze bedeutend der Erdoberfläche nähern. Daher kommt es, dass in den Pyrenäen Ramond die Schneegränze im Innern in 1375' fand, auf dem Pic Long und Neuville erst in 1450', und auf dem Pic du Midi gar erst in 1506' [38]). Dieselbe Ursache wie beim Himalaya findet beim Kasbek Statt [39]). Eine andere Ursache, weshalb die Schneegränze auf manchen Gebirgen erst in bedeutenderer Höhe ihren Anfang nimmt, ist die von der Oberfläche der dichteren Wolken (von welcher wir oben schon weitläufiger gehandelt haben) ausgehende bedeutende Wärmestrahlung, von deren Einwirkung d'Aubuisson [40]) ein recht auffallendes Beispiel erzählt.

II) Weshalb die Temperatur der Schneegränze in den Polargegenden geringer sei, als in niedrigeren Breiten, ist nun klar. Nehmen wir an, die Region, in welcher der Schnee nie schmilzt, beginne unter dem Aequator erst da, wo die Temperatur sich nie über 0° erhebt, wo also vielleicht eine mittlere Wärme von — 5° herrscht. Die von den mit Schnee bedeckten Gipfeln herabsinkenden kälteren Luftmassen werden die Niederschläge, welche in

38) *Annales de Chim. et de Phys.* II. p. 192. XIV. p. 26.
39) Engelhardt und Parrot *Reise.* I. p. 208 — 12.
40) *Traité de Géognosie* Tom. I. p. 469. sec. édit.

Digitized by Google

festerer Form aus höheren Schichten auf die niedrigeren Bergregionen herabfallen, verhindern, in den tropfbar flüssigen Zustand überzugehen, trotz dem, dass die Sommertemperatur, ohne den Einfluss dieser herabsinkenden Luftmassen, es zu thun wohl im Stande wäre. Daher unter dem Aequator die mittlere Temperatur der Schneegränze von + 1°,4. In höheren Breiten dagegen fängt die Region des ewigen Schnees in geringeren Höhen von der Erdoberfläche an, wo noch die jährliche Temperaturvariation einen grösseren Umfang hat, und also die Kälte der herabsinkenden Luftmassen nicht im Stande ist, die höhere Sommertemperatur gänzlich zu compensiren. Je weiter wir aber nach Norden kommen, desto mehr wird diese Ursache vorwalten.

III) Es geht nun hieraus hervor, dass die Höhe der Schneegränze Oscillationen vom Sommer zum Winter unterworfen sein müsse, deren Ausdehnung vom Aequator nach den Polen zunimmt. Auf dem Chimboraço und den übrigen unter der Linie belegenen Bergen beträgt sie 12 — 15′; auf dem Pichincha ist sie zwar bedeutender, weil der Schnee während einiger Monate von seinem Gipfel gänzlich verschwindet, aber dazu tragen die zu seiner Spitze frei emporsteigenden westlichen Meereswinde, die schwarze Farbe seiner basaltischen Trachyte, selbst die höhere Temperatur, welche der noch

Digitized by Google

rauchende Gipfel des Rucu-Pichincha hat, bei [41]). In Mexiko steigt der Schnee zur Zeit seines Minimums, im September [42]), nicht unter 4500 Meter hinab. Aber im Monate Januar befindet sich seine Höhe in 3700^{m}, und dies ist die niedrigste Höhe, zu der er hinabsteigt. Die Oscillation der Schneegränze beträgt daher unter 19° n. Br. von einer Jahreszeit zur andern 800^{m}. Ephemerer Schnee fällt natürlich in noch niederen Höhen, in Mexiko gemeiniglich zuletzt in der von 3000^{m}, aber in der Stadt Mexiko selbst: ja noch tiefer in Valladolid (2277^{m}), hat man Schnee fallen sehen (wie oben in der Abhandlung über den Hagel nachgewiesen worden ist) [43]). In höheren Breiten ist diese Oscillation natürlich noch bedeutender. Man darf aber zur Schneegränze nicht etwa die Gletscher und Eisfelder rechnen, welche durch ihr Gewicht sich in enge Thäler hinabsenken, wo die Sommerhitze sie entweder gar nicht, oder nur sehr langsam zu schmelzen vermag. Solche Gletscher fand Parrot auf dem Kaukasus bei den Quellen des Tereck in 1250^{t} und 1360^{t} Höhe [44]);

---

41) *Semanario de Santa Fé de Bogota.* I. p. 243. *Annales de Chim. et de Phys.* XIV. p. 35.

42) Parrot in *Naturwissenschaftl. Abhandl. aus Dorpat.* I. p. 250. Engelhardt u. Parrot *Reise.* I. p. 210.

43) *Essai politique sur le royaume de la nouvelle Espagne.* éd. en 4to. Tom. I. p. 45.

44) Engelhardt und Parrot *Reise.* I. p. 211.

Digitized by Google

d'Aubuisson bei Entrèves im Thale von Aosta in 1440 Meter [45]).

IV) Die Schneegränze erreicht etwa zwischen 77° und 80° n. Br. die Oberfläche der nördlichen Hemisphäre, der südwestliche Theil von Spitzbergen liegt indessen noch ausserhalb dieser Region [46]). Hällström, welcher aus einem Theile der oben aufgezählten Beobachtungen, nicht etwa aus den zuverlässigsten, sondern aus beliebig ausgewählten, mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate, folgende Gleichung zur Bestimmung der Höhe der Schneegränze über dem Meeresniveau herleitete:

$$h = 2462{,}4 + 293 \sin . \varphi - 2501{,}8 \sin^2 \varphi$$

wo φ die Polhöhe bezeichnet, findet hieraus, dass sie unter dem Pole in einer Höhe von 253',6 über dem Meeresniveau liege, also ein ganz unstatthaftes Resultat. D'Aubuisson [47]) nimmt an:

$$h = 4320 \cos^2 \varphi + 500$$

und findet für einzelne auserwählte Beobachtungen eine genügende Uebereinstimmung; indessen passt die Formel einerseits nicht auf die übrigen Beobachtungen, und dann wird hiernach auch die Schneegränze als erst mit dem Pole zusammenfallend angenommen, was durchaus falsch ist, wie schon Gay-Lussac [48]) aus den Beobachtungen von

45) *Journal des Mines.* XXIX. p. 254. *Traité de Géognos.* I. p. 470.

46) Gilbert's *Annal.* LXII. p. 22.

47) *Traité de Géognos.* Tom. I. p. 469.

48) *Annales de Chim. et de Phys.* XXVII. p. 435.

Digitized by Google

Scoresby nachwies. In der südlichen Halbkugel fällt sie schon unter 56° s. Br. mit dem Niveau des Meeres zusammen, da selbst im December und Januar, den dortigen Sommermonaten, das flache Land des Feuerlandes, Staatenlandes [49]) und Süd-Georgiens nie von Schnee entblösst wird [50]). Auch haben Cook und Forster [51]) in 55° s. Br. das Thermometer nie über dem Gefrierpunkte gesehen.

V) Ob der Pik von Teneriffa die Schneegränze erreiche, ist öfter gefragt worden. Bouguer [52]) und Saussure [53]) behaupten, die untere Gränze des immerwährenden Schnees läge in jener Breite niedriger als die Spitze des Berges, und es liesse sich allerdings durch mancherlei Localverhältnisse, wie durch die hohe Temperatur des Bodens, die isolirte Lage und die konische Gestalt, das schnelle Emporsteigen der von Afrika hergetriebenen Luftmassen, den in den oberen Regionen zurückkehrenden Passat, den Südwestwind, dessen Heftigkeit alle Reisende,

---

49) Indessen spricht v. Kotzebue, *Neue Reise um die Welt*, Weimar 1830. Th. I. p. 37., doch von verkrüppelten Bäumen, welche am Fusse der Gebirge des Staatenlandes gedeihen.

50) Al. v. Humboldt *Relation historique.* Vol. I. p. 239.

51) *Voyage dans l'hémisphère australe et autour du monde.* Paris 1778. 4to. Vol. I. p. 107. Biot *Astron. phys.* Vol. II. p. 278.

52) *Figure de la terre* p. XLVIII.

53) *Voyages.* Tom. IV. p. 103.

Digitized by Google

die den Pik bestiegen, erwähnen [54]), endlich die Nähe des Oceans, die Anomalie erklären, dass in den Sommermonaten der Schnee gänzlich verschwindet. Al. v. Humboldt, welcher den Pik im Juny bestieg, fand nirgends, selbst nicht in der Cueva del hielo, Schnee; über derselben fand v. Buch und Christ. Smith [55]) im Mai nur einzelne Schneeflecke, und selbst diese verschwanden weiter hinauf. Aber, so viel sich auch dafür anführen lässt, dass der Gipfel des Pik über der unteren Schneegränze liege, so viele und triftige Gründe sprechen dawider. Durch die obigen Bemerkungen ist es ausser Zweifel gesetzt, dass die Temperatur der Luftschicht, welche unter dem Aequator der ewigen Schneegränze benachbart ist, einige Grade über dem Gefrierpunkte, während sie unter dem 45. Breitengrade in den Alpen nach den Beobachtungen von Saussure, in den Pyrenäen nach denen von Ramond im Sommer unter dem Gefrierpunkte sich erhält. Unter dem Breitenkreise des Pik, nahe dem Mittel zwischen den beiden angeführten Parallelkreisen, müsste also die mittlere Temperatur der Höhe, bis zu welcher ewi-

---

54) Al. v. Humboldt *Relation historiq.* Vol. I. p. 132. Glas *History of the discovery and conquest of the Canary Islands.* London 1764. 4to. p. 251. Leop. von Buch *über das Klima der kanarischen Inseln. Abh. der Berl. Akadem.* $18\frac{20}{21}$. phys. Cl. p. 110.

55) Leop. v. Buch *physikalische Beschreibung der kanarischen Inseln* p. 9.

Digitized by Google

ger Schnee herabsteigen würde, die des natürlichen Gefrierpunktes sein, und diese giebt es noch nicht auf dem Pik; wie die Beobachtungen über die Quantität der Wärmeabnahme in der Atmosphäre lehren. Kurz, es ist glaublich, dass der Gipfel des Pik über die Gränze des ewigen Schnees nicht erhaben sei [56]), jedoch lassen sich die Zweifel darüber nicht eher heben, als bis die physische Constitution des Atlas in Marokko genau bekannt geworden ist. Indessen scheinen die Höhen des Atlas nirgends mit weitläufigen Schneefeldern bedeckt zu sein, und nur einzelne wenige Gipfel in die Region des ewigen Schnees emporzureichen [57]).

VI) Wo die Schneegränze beginnt, hört alle Vegetation auf. Nur eine Ausnahme ist bis jetzt bekannt: v. Engelhardt und Parrot fanden beinahe 1000′ über der Schneegränze auf dem Berge Kasbek eine Art der Gattung Cerastium (Hornkraut), welche sie Cerastium Kasbek nannten, nicht etwa einzeln, sondern in fünf beisammenstehenden Exemplaren, nicht verkrüppelt, sondern mit Blättern, Blüthe und Samen versehen [58]). Nur ein Analogon möchte sich

56) Al. v. Humboldt *Relation historiq.* Vol. I. p. 183.

57) Jackson *Account of Marocco* p. 10. G. Höst *Nachrichten von Marocco und Fez.* Aus dem Dänischen. Copenhagen 1781. 4to. p. 79. Ritter *Erdkunde.* Aufl. 2. I. p. 893.

58) *Reise in die Krym und in den Kaukasus.* Th. I. p. 213. Th. II. p. 87—112.

Digitized by Google

diesem seltsamen Phänomen anreihen lassen: die Thatsache, welche Leop. v. Buch [59]) erzählt, dass in Mageroë, Kielvig, Hammerfest, Alten an einzelnen Stellen im Sommer kurzes Gras wächst, welches sich im Winter unter dem Schnee als willkommene Nahrung für die Rennthiere erhält. Aber auch dies ist nur eine Vegetation unter dem Schnee, nicht über oder auf demselben.

VII) Bedemar [60]) meint, die Schneegränze wiche, je weiter man sich nach Norden wende, desto mehr von ihrer Normalhöhe ab, indem er hier vorzugsweise die in Norwegen angestellten Beobachtungen vor Augen hat. Aber die unter den Meridianen von Paris und Berlin gemachten Beobachtungen können nicht zur Norm dienen, da Europa, besonders das westliche, sich einer höheren Temperatur erfreut, als die übrigen Theile der Erdoberfläche in gleichen Breitengraden.

Die Ursachen dieses Phänomens hat sehr genügend Alex. v. Humboldt [61]) auseinandergesetzt. Er sagt: „Europa verdankt sein milderes Klima seiner Erdstellung (seinem Positionsverhältnisse gegen das nahe Meer) und seiner gegliederten Gestaltung. Europa ist der westlichste Theil des alten Continentes und hat

---

59) *Reise durch Norwegen und Lappland.* Th. II. p. 89.

60) *Reisen im hohen Norden.* I. p. 242.

61) *Abh. der Berl. Akad. phys. Cl.* 1827. p. 311. Poggendorff's *Annalen* XI. p. 22.

Digitized by Google

also den grossen, an sich schon Kälte mindernden und dazu noch vom Golfstrome theilweise erwärmten, atlantischen Ocean in Westen. Zwischen den Meridianen, in denen Europa sich hinstreckt, fällt die Aequatorialzone nicht in das Becken des Oceans, wie in dem deshalb kälteren Asien. Der Welttheil, der unter allen den grössten Theil des tropischen Klimas geniesst, das sandbedeckte Afrika, ist so gelegen, dass Europa von den Luftschichten erwärmt wird, welche, über Afrika aufsteigend, sich vom Aequator gegen den Nordpol ergiessen. Ohne die Existenz des mittelländischen Meeres würde der Einfluss des nahen Afrikas auf Temperatur und geographische Verbreitung der Pflanzen und Thiere noch wirksamer sein. Der dritte Hauptgrund des milderen Klimas von Europa liegt darin, dass dieser Welttheil sich weniger weit gegen den Nordpol erstreckt, als Amerika und Asien, ja dass er dem grössten Busen eisfreien Meerwassers gegenüber liegt, den man in der Polarzone kennt [62]). Die kältesten Punkte der Erde, neuerlichst uneigentlich Kältepole genannt, fallen nicht, wie der sonst so scharfsinnige Brewster in der englischen Bearbeitung meiner Abhandlung von den isothermen Linien zu beweisen gesucht hat, mit den magnetischen Polen zusammen. Das Minimum der mittleren jährlichen Tempera-

62) Wenn dies nicht umgekehrt eine Folge der grösseren Wärme Europa's, vielleicht aber auch des Golfstromes ist.

Digitized by Google

tur liegt nach Capt. Sabine's Untersuchungen im Nordwesten von Melville's Inseln, im Meridiane der Behring-Strasse, wahrscheinlich in 82° — 83° n. Br. Die Sommergränze des Eises, welche zwischen Spitzbergen und Ostgrönland sich bis zum 80. und 81. Grade zurückzieht, findet sich überall zwischen Nova-Zembla, den Knochen-Inseln von Neu-Sibirien und dem westlichsten amerikanischen Eiskap, schon im 75. Grade der Breite. Selbst die Wintergränze des Eises, die Linie, auf welcher die Eisdecke sich unserem Welttheile am meisten nähert, umgiebt kaum die Bären-Insel. Vom skandinavischen Nordcap, welches ein südwestlicher Meeresstrom erwärmt[63]), ist die Fahrt zum südlichsten Vorge-

63) Die Wirkungen des Golfstromes betreffen aber nur unmittelbar die Küsten Norwegens; Schweden hat schon eine bedeutend geringere Temperatur. Nach Leopold v. Buch (*Reise durch Norwegen und Lappland.* II. p. 89.) friert es in Alten, Mageroë, Hammerfest, Kielvig im Winter in gut verwahrten Kellern nie, während der Boden unter gleicher Breite in Sibirien nie ganz aufthaut. Bedemar (*Reisen nach dem hohen Norden.* II. p. 94.) dagegen erzählt, dass in Altengaard am 19. Juli 1812 das Kraut von Solanum tuberosum erfror, das Thermometer nie über 12°,5 steigt, und in Kellern selbst das Wasser gefriert. Solche einzelne Fakta beweisen indessen nichts. Im Sommer 1818 verdorrte in Lappland selbst der in feuchtem Boden wachsende Rubus chamaemorus (Gilb. *Annal.* Bd. LXII. S. 153). Auf keinen Fall reichen diese und ähnliche Einzelnheiten hin, die Behauptung, welche in Thurii *Annales Herulorum* in v. Westphalen *Monum. inedit. Cimbric.* Tom. I. p. 201. aufgestellt wird, und die ich in Berghaus's *Annalen der Erd-, Völker- und Staatenkunde*

Digitized by Google

birge von Spitzbergen selbst im strengsten Winter nicht unterbrochen. Das Polareis vermindert sich überall, wo es frei abfliessen kann, wie in der Baffinsbai und zwischen Island und Spitzbergen. Die Lage des atlantischen Oceans hat den wohlthätigsten Einfluss auf die Existenz jenes, für das Klima von Nord-Europa so wichtigen, eisfreien Meerwassers in dem Meridian von Ostgrönland und Spitzbergen. Dagegen häufen sich im Sommer die aus der Baffinsbai und Barrowsstrasse südlich getriebenen Eisberge in dem grossen Mittelmeere an, welches die Geographen mit dem Namen der Hudsonsbai bezeichnen. Diese Anhäufung vermehrt so sehr die Kälte in dem benachbarten Continente, dass man in der Faktorei York und bei der Mündung des Hayesflusses, nach Capitain Franklin's neuesten handschriftlichen Berichten, in Einer Breite mit Nordpreussen und Curland, am Ende des Augusts und im Anfange des Septembers in 4 Fuss Tiefe überall Eis findet. Die nördlichsten und südlichsten Gränzen des Polareises, das heisst die Sommer- und Wintergränzen, von deren Lage die Temperatur der nördlichen Continentalmassen abhängt, scheinen in den historischen Zeiten, wie gründlichere Un-

---

Bd. V. S. 473. 498 gehörig gewürdigt zu haben glaube, zu unterstützen und zu bekräftigen, dass im Winter $14\frac{8}{80}$, der allerdings auch im mittleren Europa besonders heftig war, so dass die Donau zwei ganze Monate hindurch gefroren blieb, die Nordsee von Norwegen bis Island mit Wagen befahrbar gewesen sei.

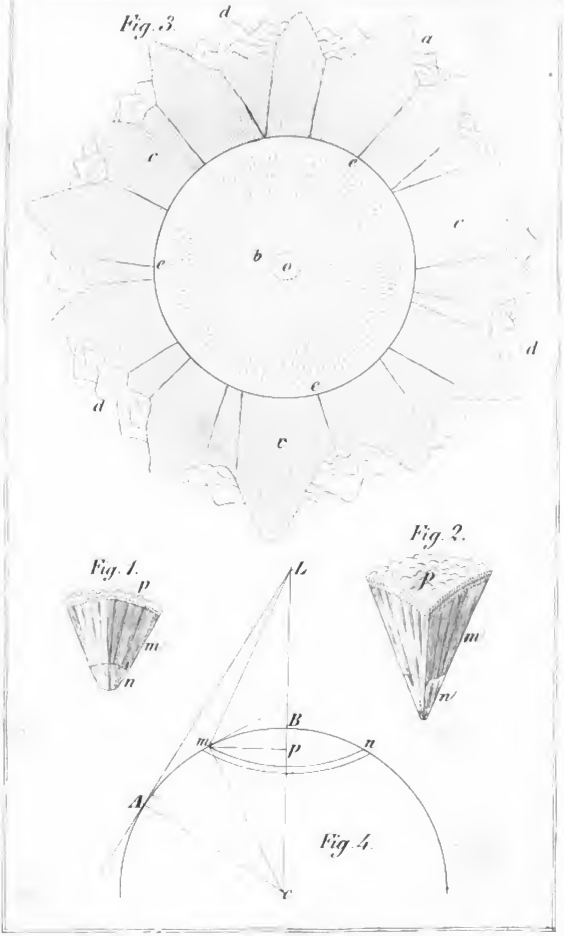
Digitized by Google

tersuchungen gelehrt haben, wenig verändert worden zu sein [64]). Der schädliche Einfluss, welchen kleine, isolirte, durch Strömungen zuweilen bis in die Nähe der Azoren getriebene, Eismassen auf das Klima von Europa ausüben sollen, gehört zu den Mythen, die von den Physikern ausgehen und sich unter dem Volke verbreiten, wenn die Physiker längst aufgehört haben, ihnen Glauben beizumessen."

---

64) Genauere Angaben über die Lage des Polareises nach Scoresby sind folgende: Von dem südlichsten Vorgebirge Grönlands zieht sich die Eislinie in nordöstlicher Richtung längs der Küste, umklammert den nördlichen Theil von Island, geht unter der Insel Jan-Mayen (71° Br. und 5° ½ westl. Länge von Greenwich) fort, durchschneidet den Meridian von Greenwich zwischen 71° und 72° Br. und wendet sich dann plötzlich nach Norden in 73° und 74° Br. und 6° — 10° östl. Länge. In dieser Richtung geht sie in einerlei Meridian im Sommer bis 80° n. Br., im Winter aber nur bis etwa 74° Br. fort und macht in letzterer Jahreszeit hier eine grosse, halbkreisförmige Bucht, die bis 77° n. Br. hinaufreicht und in südöstlicher Richtung unter der Bäreninsel (Cherry-Island) weggeht. Gilbert's *Annalen* LXII. p. 36.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Leipzig 1833
bei Friedr. Christ. Wilh. Vogel.

Digitized by Google